

ISSN 0002-1881

Март 2024

Номер 3

АГРОХИМИЯ



НАУКА

— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2024

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

Значение обеспеченности почв подвижным калием в повышении урожайности и эффективности азотных удобрений

С. А. Шафран

3

Влияние минеральных удобрений на биологическую активность почв при использовании технологии прямого посева

А. Н. Федоренко, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, М. С. Нижельский, В. В. Вилкова, С. И. Колесников

14

Удобрения

Влияние систем удобрения и способов обработки почвы на формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы и сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе

О. А. Минакова, П. А. Косякин, О. К. Боронтов, Е. Н. Манаенкова

23

Регуляторы роста растений

Использование биостимулятора Grow—В для повышения всхожести семян табака, биометрических показателей рассады, урожайности и качества табачного сырья

Е. М. Гютюнникова, Т. В. Плотникова

30

Пестициды

Действие фунгицидов на возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля

А. С. Орина, О. П. Гаврилова, И. И. Трубин, Т. Ю. Гагкаева

37

Активность и некоторые кинетические параметры карбоксилэстераз у модельных насекомых в зависимости от субстрата фермента

А. Г. Кинарейкина, Е. А. Силиванова

43

Агроэкология

Трансформация микробного сообщества лесной подстилки при ее внесении в почву агроценоза

С. К. Стеценко, Е. М. Андреева, Г. Г. Терехов

50

Экотоксикология

Исследование численности и ферментативной активности микроорганизмов в почвах, загрязненных пестицидами

С. И. Наджафова, Ф. Ш. Кейсерухская

61

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Применение беспилотных летательных аппаратов модульного типа и искусственного интеллекта при анализе состояния посевов лубяных культур

Д. Р. Аветисян

66

ОБЗОРЫ

Полифункциональное действие регуляторов роста на основе тритерпеноидов на растения пшеницы

Э. С. Давидянц

70

Contents

No. 3, 2024

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

Importance of Providing Soils with Mobile Potassium in Increasing the Yield and Efficiency of Nitrogen Fertilizers

S. A. Saffran 3

Effect of Mineral Fertilizers on the Biological Activity of Soils using Direct Seeding Technology

A. N. Fedorenko, G. V. Mokrikov, K. S. Kazeev, M. S. Nizhelskiy, V. V. Vilкова, S. I. Kolesnikov 14

Fertilizers

Influence of Fertilizer Systems and Tillage Methods on the Formation of the Assimilation Apparatus and Photosynthesis Productivity of Winter Wheat and Sugar Beet in the Central Chernozem Region

O. A. Minakova, P. A. Kosyakin, O. K. Borontov, E. N. Manaenkova 23

Plant growth regulators

Utilizing Biostimulator Grow-B for Increasing Tobacco Seeds Germination, Biometric Indicators of Seedling and Quality of Cured Tobacco

E. M. Tutunnikova, T. V. Plotnikova 30

Pesticides

Effect of Fungicides on *Fusarium* Fungi Caused Potato Dry Rot

A. S. Orina, O. P. Gavrilova, I. I. Trubin, T. Yu. Gagkaeva 37

Activities and Kinetic Parameters of Carboxylesterases in Model Insects depending on a Substrate of the Enzyme

A. G. Kinareikina, E. A. Silivanova 43

Agroecology

Transformation of the Forest Litter Microbial Community Introduced in to the Agroecosystem Soil

S. K. Stetsenko, E. M. Andreeva, G. G. Terekhov 50

Ecotoxicology

Investigation of the Number and Enzymatic Activity of Microorganisms in Soils Contaminated with Pesticides

S. I. Nadjafova, F. S. Keyseruxskaya 61

RESEARCH METHODS

Use of Unmanned Aerial Vehicles of Modular Type and Artificial Intelligence in the Analysis of the State of Bast Crops

D. R. Avetisyan 66

REVIEWS

Multifunctional Effect of Triterpenoid-Based Growth Regulators on Wheat Plants

E. S. Davidyants 70

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

УДК 631.416.4:631.559:631.84

**ЗНАЧЕНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ
В ПОВЫШЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ
АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ**

© 2024 г. С. А. Шафран*

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия***E-mail: shafran38@mail.ru*

Изложены результаты исследования, посвященного изучению влияния содержания подвижного калия в различных почвах на урожайность основных сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них азотных удобрений. Согласно полученным данным, обеспеченность почв подвижным калием играет весьма заметную роль в повышении урожайности зерновых культур, картофеля и льна-долгунца. В наибольшей степени это коснулось дерново-подзолистых почв, на которых более высоким оказался прирост урожайности за счет повышения их калийного уровня и более высокой отдачи от внесения азотных удобрений. Среди изученных культур выделялась озимая пшеница, которая лучше других реагирует не только на увеличение содержания K_2O в почве, но и в целом на их агрохимическое окультуривание. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах ее урожайность возрастала в 3 раза, на черноземах выщелоченных — в 2.5 раза, тогда как на таких же почвах урожайность яровой пшеницы увеличилась в 1.2–1.3 раза, картофеля — в 1.5 раза и льна-долгунца в зависимости от предшественника — в 1.7–1.9 раза. Установлена зависимость эффективности азотных удобрений от содержания подвижного калия в почвах.

Ключевые слова: подвижный калий, урожайность, азотные удобрения, прибавка урожая, эффективность удобрений.

DOI: 10.31857/S0002188124030017, **EDN:** DOBHLW

ВВЕДЕНИЕ

Исследования последних лет расширили представления о многофункциональной роли калия в жизнедеятельности культурных растений и повышении их продуктивности. Тем не менее, в нашей стране и Восточно-Европейских странах отмечают определенную недооценку значения этого элемента в земледелии [1, 2]. Несмотря на самый высокий вынос калия урожаями, применяются калийные удобрения по сравнению с азотными намного меньше. В настоящее время в среднем в стране вносят в почву калия 2–3 кг/га пашни, ежегодный дефицит калия в среднем в стране варьирует от 16 до 30 кг K_2O /га, что в сумме за 25 лет составляет значительную величину.

Известно, что систематическое превышение выноса K_2O над его поступлением в почву рано или поздно приводит к деградации почв по обеспеченности данным питательным веществом. В первую очередь это касается менее буферных дерново-подзолистых почв, в которых уже сейчас обозначилась устойчивая тенденция к снижению

содержания подвижного калия. В целом в Нечерноземной зоне средневзвешенное содержание подвижного калия за 25 последних лет снизилось на 9, в Центральной ее части — на 7%. В регионах, где преобладают дерново-подзолистые почвы, подобные изменения еще более заметны. В Брянской обл. содержание K_2O сократилось на 30, во Владимирской — на 27, в Ивановской — на 29, Костромской — на 21 и в Тверской — на 17% [3]. При этом следует сказать, что эти изменения произошли несмотря на снижение площади обследованной пашни. В Нечерноземной зоне площадь таких почв снизилась на 34%, в отдельных регионах — еще больше. Например, в Ивановской обл. — на 39, в Смоленской — на 59, в Тверской — на 47, в Вологодской — 44 и в Пермском крае — на 50%. Как правило, из оборота выводят менее плодородные почвы, но это не остановило деградацию почв Нечерноземья по степени их обеспеченности подвижным калием.

В более буферных почвах, характеризующихся высоким содержанием подвижного калия (черноземы, каштановые почвы), хотя и допустим небольшой дефицит K_2O с экономической

и экологической точек зрения [4], но этот процесс не может продолжаться бесконечно. Например, в длительном полевом опыте на обыкновенном черноземе при систематическом дефиците калия в севообороте через 18 лет во второй минимум после азота в посевах кукурузы и озимой пшеницы вместо фосфора перешел калий, поскольку от его внесения прибавка урожая превосходила действие фосфорного удобрения [5].

Все это говорит о том, что несмотря на многостороннее действие калийных удобрений их применение крайне недостаточно, и это приводит к огромному недополучению продукции за счет недобора урожая на полях с низким содержанием подвижного калия в почве.

При обобщении результатов многочисленных полевых опытов и разработке на этой основе нормативной базы, отражающей влияние агрохимических свойств почв на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них минеральных удобрений, было обращено внимание, что величина сбора урожая и действие азотных удобрений в определенной мере зависят от содержания подвижного калия в почвах. Наряду с этим, в литературных источниках можно встретить информацию, что при систематическом применении минеральных удобрений в различных звеньях севооборота необходимо поддерживать определенное соотношение азота и калия, но при этом не говорится о влиянии содержания подвижного калия на данный процесс. Исследования ВНИИА последних лет позволили оценить влияние запаса K_2O в различных почвах на урожайность основных зерновых культур, картофеля и льна-долгунца. Статистическая обработка данных многочисленных полевых опытов дала возможность разработать соответствующие нормативы, в которых отражено влияние комплекса агрохимических свойств почв на урожайность и эффективность применения минеральных удобрений под перечисленные культуры, возделываемые в различных почвенно-климатических условиях, и выделить среди них наиболее значимые факторы [5–7].

Цель работы — изучение влияния содержания калия в почве на урожайность основных зерновых культур, картофеля и льна-долгунца, возделываемых на различных почвах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для разработки модели прогноза эффективности минеральных удобрений, в том числе и калийных, был использован концептуальный метод моделирования, который достаточно полно характеризует структурные связи в системе почва—растение—удобрение. В этом случае изменения

оптимума одних свойств почв при вариации других обеспечивает возможность обосновано оценить изменчивость прибавок урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от различных сочетаний агрохимических свойств почвы и доз удобрений. На эффективность калийных удобрений в значительной мере оказывает влияние содержание подвижного калия в почве, с его увеличением снижается прибавка от калийных удобрений, но возрастает урожайность в варианте без их внесения. Например, при внесении под озимую пшеницу калийных удобрений 60 кг/га на дерново-подзолистой почве прибавка от калия снижалась при увеличении содержания K_2O от низкой группы обеспеченности до повышенной на 3.3 ц/га, но при этом урожайность в контроле возрастала на 17.7 ц/га. При этом возрастала также прибавка урожая от внесения азотных удобрений в зависимости от содержания минерального азота в почве — на 3.1–4.2 ц/га при использовании азота в дозе 60 кг/га.

Следовательно, информация, представленная в упомянутых нормативах [4], дает возможность выделить из всего комплекса агрохимических свойств интересующие нас факторы, а именно действие содержания подвижного калия на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них азотных удобрений.

Полученные данные базируются на математической обработке обширного экспериментального материала, которые позволяют сделать вполне обоснованные выводы о влиянии уровня подвижного калия на урожайность перечисленных культур и эффективность азотных удобрений. Рассмотрим это на примере с озимой пшеницей на дерново-подзолистых почвах. Сначала нормативные материалы заносят в специальную форму, в которой приводятся данные по влиянию содержания подвижного калия на урожайность и ее прибавку от внесения азотных удобрений в различных дозах. В связи с тем, что на эффективность действия азотных удобрений, вносимых под озимую пшеницу, большое влияние может оказать содержание минерального азота в почве, в таблицу заносят также и эти данные. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах действие азотных удобрений зависит от степени кислотности, и поэтому в форму предусмотрено включение этого показателя (табл. 1).

В зависимости от биологических особенностей изученных культур форма заполнения исходных данных может изменяться, но основной принцип остается, т.е. выделение данных о влиянии содержания подвижного калия на урожайность и прибавку урожая от азотных удобрений. При обсуждении результатов исследования будут

Таблица 1. Влияние содержания подвижного калия в почвах на прибавку урожая пшеницы от применения азотных удобрений (N60), ц/га

Почвы	Содержание K ₂ O		
	низкое	среднее	выше среднего
Озимая пшеница			
Дерново-подзолистые	6.7	8.0	8.6
Серые лесные	4.4	5.3	6.6
Черноземы выщелоченные	3.7	4.2	4.2
Черноземы типичные	2.4	2.5	3.3
Черноземы карбонатные	2.3	2.4	2.5
Каштановые	1.4	1.7	1.7
Яровая пшеница			
Дерново-подзолистые	4.3	5.2	5.5
Серые лесные	2.5	3.0	3.1
Черноземы выщелоченные	1.8	2.2	2.3
Черноземы обыкновенные и южные	1.1	1.3	1.6
Лугово-черноземные (Дальневосточный округ)	2.7	2.9	3.0

прокомментированы специфические условия, касающиеся биологических особенностей изученных культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зерновые культуры. Изучение влияния содержания подвижного калия в почвах было проведено с основными зерновыми культурами, которые возделывают в нашей стране. В зависимости от биологических особенностей ареал исследований соответствовал этому фактору. Например, в опытах с озимой пшеницей представилась возможность исследовать действие степени обеспеченности почв подвижным калием на 7-ми типах почв, расположенных в европейской части России, яровой пшеницы — на 5-ти, ячменя ярового — на 2-х, озимой ржи и овса — только на дерново-подзолистых почвах. В самом общем виде влияние содержания подвижного калия на эффективность внесенных под озимую и яровую пшеницу азотных удобрений выглядит следующим образом. Наиболее высокая прибавка урожая получена на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, на черноземных почвах прирост урожая от азотных удобрений был гораздо меньше, особенно яровой пшеницы.

Еще более заметно прослежено влияние содержания подвижного калия в почвах на урожайность озимой и яровой пшеницы, а также эффективность применения под них азотных удобрений, на примерах, представляющих ту или иную почвенную разновидность. На дерново-подзолистых почвах урожайные данные в контрольном варианте и прибавки урожая были дифференцированы

по содержанию подвижного калия на фоне различной кислотности и содержания минерального азота в почве. В данном случае речь идет об озимой пшенице. Это позволило оценить влияние степени обеспеченности дерново-подзолистых почв K₂O при различной агрохимической окультуренности почв как на урожайность озимой пшеницы, так и на эффективность применения под нее азотных удобрений (табл. 2).

Из представленных данных следует, что увеличение содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах способствует значительному приросту урожайности озимой пшеницы в варианте без внесения азотных удобрений. Величина прибавки при этом возрастала также при увеличении обеспеченности почв минеральным азотом и снижении степени из кислотности. При содержании минерального азота <5 мг/кг прирост урожая составил при pH <5.5—4.4 ц/га, а при содержании > 10 мг/кг — 8.7 ц/га. Это наблюдали на почвах, которые характеризовались величиной pH <5.5. При переходе их в менее кислую категорию (pH >5.5) эти показатели составляли соответственно 4.9 и 9.6 ц/га, т.е. были больше по сравнению с более кислыми почвами.

Аналогичные данные получены также на серых лесных почвах, показатели урожайности озимой пшеницы в контрольном варианте несколько превышали показатели, полученные на дерново-подзолистых почвах (табл. 3).

В то же время, действие азотных удобрений на серых лесных почвах было менее эффективно по сравнению с дерново-подзолистыми, но достаточно детектируемо, особенно в вариантах,

Таблица 2. Влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах

Содержание K ₂ O в почве, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га			
		Дозы азота, кг/га			
		30	60	90	120
pH ≤ 5.5					
Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг					
≤80	9.6	6.6	7.6	8.0	7.8
81–120	13.4	7.8	8.8	9.2	9
>120	14.0	8.2	9.2	9.6	9.4
Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг					
≤80	12.1	6.0	6.9	7.2	7.0
81–120	16.1	7.1	8.0	8.3	8.1
>120	19.5	7.5	8.4	8.7	8.5
Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг					
≤ 80	19.1	4.8	5.6	5.8	5.7
81–120	23.0	5.7	6.5	6.7	6.6
>120	27.8	6.0	6.8	7.1	6.9
pH >5.5					
Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг					
≤80	10.6	8.2	9.4	9.9	9.6
81–120	12.7	9.6	10.9	11.4	11.1
>120	15.5	10.2	11.4	11.9	11.6
Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг					
≤80	14.9	8.4	8.6	9.0	8.7
81–120	17.9	8.8	9.9	10.4	10.1
>120	21.7	9.3	10.4	10.8	10.5
Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг					
≤80	21.3	6.0	6.9	7.3	7.1
81–120	25.6	7.1	8.0	8.4	8.2
>120	30.9	7.5	8.4	8.8	8.5

которые характеризовались менее кислой реакцией почвенной среды.

Анализ материала, полученного по результатам обобщения опытов, проведенных на выщелоченных черноземах, показал, что на этих почвах влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы оказалось достаточно высоким. Переход выщелоченных черноземов из категории низкообеспеченных подвижным калием в повышенную способствовал заметному повышению урожайности озимой пшеницы без внесения азотных удобрений. Это в равной степени относится к вариантам с различной степенью обеспеченности минеральным азотом независимо от географического расположения, т.е. на территории Центрального, Южного и Северо-Кавказского федеральных

округов. При этом полученные результаты практически мало отличались друг от друга (табл. 4).

Вместе с тем действие азотных удобрений на урожайность озимой пшеницы проявилось несколько иначе, поскольку эффект от их внесения был больше на черноземах выщелоченных Центрального федерального округа. Наиболее заметно эта разница проявилась на почвах, где содержание минерального азота превышало 10 мг/кг.

В опытах с яровой пшеницей прослеживается та же закономерность во влиянии содержания подвижного калия на урожайность этой культуры без внесения под нее азотных удобрений, хотя эти эксперименты были проведены в иных природно-климатических условиях. В этом случае прослежена такая же закономерность, что и в опытах

Таблица 3. Влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений на серых лесных почвах, ц/га

Содержание K ₂ O в почве, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га			
		дозы азота, кг/га			
		30	60	90	120
pH ≤ 5.5					
Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг					
≤80	10.8	5.3	6.0	6.3	6.1
81–120	12.9	6.3	7.0	7.3	7.1
>120	14.9	6.9	7.6	7.8	7.7
Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг					
≤80	15.2	4.1	4.6	4.8	4.7
81–120	18	4.9	5.4	5.6	5.5
>120	20.8	5.3	5.8	6.0	5.9
Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг					
≤80	21.6	3.3	3.7	3.8	3.7
81–120	25.8	3.9	4.3	4.4	4.3
>120	29.7	4.2	4.6	4.8	4.7
pH > 5.5					
Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг					
≤80	12.2	6.2	6.9	7.3	7.0
81–120	14.5	7.3	8.1	8.4	8.2
>120	16.7	7.9	8.8	9.0	8.9
Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг					
≤80	17.1	4.7	5.3	5.6	5.4
81–120	20.3	5.6	6.2	6.5	6.3
>120	23.4	7.9	6.7	6.9	6.8
Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг					
≤80	24.4	3.8	4.3	4.5	4.6
81–120	29.0	4.5	5.0	5.2	5.0
>120	33.5	4.9	5.4	5.5	5.5

с озимой пшеницей, т.е. повышение урожайности при улучшении калийного режима почв. В наибольшей степени это наблюдали на дерново-подзолистых почвах, где прирост урожая составил 5.4 ц/га, тогда как на серых лесных – 2.2–3.4 ц/га в зависимости от региона, на черноземах выщелоченных и на почвах Дальневосточного федерального округа – 2.1 ц/га (табл. 5).

Эффект от применения азотных удобрений также возрастал при повышении обеспеченности почв подвижным калием, а наибольшая прибавка получена на дерново-подзолистых почвах, далее идут серые лесные обоих федеральных округов, почвы Дальневосточного федерального округа и черноземы выщелоченные.

Картофель. Биологические особенности картофеля таковы, что он способен употребить большое количество питательных веществ, но вследствие относительно слабой корневой системы не может их усваивать из нижних горизонтов почвы, поэтому для формирования высоких урожаев он нуждается во внесении удобрений, особенно в Нечерноземной зоне. Доля участия минеральных удобрений в формировании урожая картофеля составляет в зависимости от зоны 33–46%, из которых 33–46% приходится на азотные удобрения. Основным источником питания картофеля является почва, поскольку по сравнению с зерновыми культурами он в большей степени использует питательные вещества из почвенных запасов, в связи с этим повышение калийного уровня почв подвижным калием способствует увеличению отдачи

Таблица 4. Влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений на выщелоченных черноземах, ц/га

Содержание K ₂ O в почве, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожайности от азотных удобрений			
		дозы азота, кг/га			
		30	60	90	120
Центральный федеральный округ					
Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг					
≤80	15.0	4.5	5.8	6.2	5.9
81–120	17.7	5.6	6.5	6.9	6.7
>120	18.7	6.3	7.2	7.6	7.4
Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг					
≤80	21.0	3.7	4.4	4.7	4.6
81–120	24.8	4.3	5.2	5.3	5.1
>120	26.2	4.9	5.5	5.7	5.7
Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг					
≤80	30.0	3.0	3.6	3.8	3.7
81–120	35.2	3.4	4.0	4.2	4.1
>120	37.1	3.9	4.4	4.7	4.5
Южный и Северо-Кавказский федеральные округа					
Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг					
≤80	15.2	4.5	5.2	5.6	5.4
81–120	16.8	4.9	5.6	6.0	5.8
>120	18.8	5.1	5.7	6.0	5.8
Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг					
≤80	22.5	3.5	4.0	4.3	4.1
81–120	25.1	3.8	4.4	4.6	4.5
>120	27.8	3.8	4.1	4.6	4.5
Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг					
≤80	29.2	2.5	2.8	3.0	2.9
81–120	32.7	2.7	3.0	3.2	3.1
>120	36.1	2.7	3.1	3.2	3.1

от азотных удобрений. В опытах с картофелем для диагностики азотного питания определяли, в отличие от зерновых культур, не содержание минерального, а легкогидролизуемого азота по методу Корнфилда. В связи с этим действие подвижного калия в почвах изучали по различной степени обеспеченности почв этой формой азота. Анализ полученного материала свидетельствовал о том, что повышение содержания подвижного калия в почве от низкого до повышенного уровня существенно влияло на урожайность картофеля, полученного без внесения удобрений, и увеличивало эффективность азотных удобрений.

На дерново-подзолистых суглинистых почвах урожайность картофеля составила в варианте с низким содержанием K₂O – 105 ц/га, с повышенным – 157, т.е. прирост составил 52 ц/га. На серых

лесных почвах отмечена аналогичная ситуация, хотя урожайность несколько превышала таковую, полученную на дерново-подзолистых почвах. При низком запасе подвижного калия и легкогидролизуемого азота сбор клубней составил 116 ц/га, при повышенной обеспеченности K₂O и азотом – 182 ц/га. Действие азотных удобрений возрастало при увеличении содержания K₂O в почвах. Это относится как к дерново-подзолистым, так и к серым лесным почвам. Разница состояла лишь в том, что на первых прирост урожайности заметно превышал другую почвенную разновидность. Одновременно с повышением содержания легкогидролизуемого азота снижалась отдача от применения азотных удобрений, причем в большей степени это относилось к серым лесным почвам. Вместе с тем суммарная урожайность, полученная за счет

Таблица 5. Влияние содержания подвижного калия на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотных удобрений

Содержание K ₂ O в почве, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожая, ц/га			
		дозы азота, кг/га			
		30	60	90	120
Центральный и Приволжский Федеральные округа					
Дерново-подзолистые почвы					
≤80	15.5	4.2	4.8	5.3	5.2
81–120	17.1	5.2	5.7	6.0	5.8
>120	20.9	5.5	6.0	6.2	6.1
Серые лесные почвы					
≤80	18.1	2.5	2.8	2.9	2.8
81–120	19.3	3.0	3.2	3.4	3.3
>120	20.3	3.1	3.4	3.5	3.5
Черноземы выщелоченные					
≤80	17.0	1.8	2.0	2.0	2.0
81–120	18.0	2.2	2.4	2.4	2.4
>120	19.1	2.3	2.4	2.5	2.5
Уральский Федеральный округ					
Серые лесные почвы					
≤80	15	3.2	3.7	3.9	3.8
81–120	16.7	3.8	4.3	4.5	4.4
>120	18.4	3.9	4.4	4.6	4.5
Дальневосточный федеральный округ					
Лугово-черноземные, черноземовидные почвы					
≤80	13.4	2.5	3.1	3.3	3.2
81–120	14.4	2.9	3.3	3.5	3.4
>120	15.5	3.0	3.4	3.6	3.5

улучшения калийного режима почв и прибавки от внесения азотных удобрений, превышала показатели, которые были зафиксированы на почвах с низкой степенью обеспеченности подвижным калием и легкогидролизуемым азотом (табл. 6).

Серые лесные почвы по величине суммарной урожайности несколько превосходили дерново-подзолистые суглинистые почвы. При агрохимическом окультуривании дерново-подзолистых и серых лесных почв на 28–36% возрастает сбор картофеля с каждого га посадочной площади.

Лен-долгунец. Азотные удобрения также играют немаловажную роль в повышении урожайности льна-долгунца. В отличие от зерновых культур и картофеля, в силу своих биологических особенностей, лен возделывают в основном на дерново-подзолистых почвах, в которых азот находится в первом минимуме, поэтому применение азотных удобрений может дать хороший эффект. В то же время лен более чувствителен к повышенной

концентрации почвенного раствора по сравнению с другими культурами. В питательной среде льну-долгунцу необходимо более широкое соотношение между азотом и калием [8, 9]. Вместе с тем дозы азота, превышающие 45 кг/га, могут вызывать полегание растений, что ведет к снижению урожайности и качества льна-долгунца. Среди льносеющих областей приблизительно 1/3 и более характеризуется низким содержанием подвижного калия в почвах. Примерно столько насчитывается площадей со средним содержанием K_2O . Еще одна особенность льна-долгунца — это его реакция на содержание гумуса в почве. На почвах с более высоким содержанием гумуса повышается урожайность льна-долгунца, но при этом снижается ее прибавка от азотных удобрений. Кроме того, на урожайность льна-долгунца немалое значение имеет культура-предшественник. При возделывании культуры после многолетних бобово-злаковых трав улучшается азотный режим почвы и, как следствие, повышается урожайность и снижается эффективность

Таблица 6. Влияние содержания подвижного калия на урожайность картофеля и эффективность азотных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах

Содержание K ₂ O в почве, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожая, ц/га			
		дозы азота, кг/га			
		60	90	120	150
Дерново-подзолистые суглинистые почвы					
Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤50 мг/кг					
≤80	105	43	47	50	53
81–120	107	50	53	56	60
121–170	108	54	58	61	64
>170	110	57	61	64	67
Содержание легкогидролизуемого азота в почве 51–100 мг/кг					
≤80	131	25	28	31	34
81–120	134	31	34	38	41
121–170	136	36	39	42	45
>170	138	39	42	45	48
Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤50 мг/кг					
≤80	149	22	25	28	31
81–120	152	28	32	35	38
121–170	154	33	36	39	42
>170	157	36	39	42	45
Серые лесные почвы					
Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤50 мг/кг					
≤80	116	37	38	39	40
81–120	141	38	40	41	42
121–170	147	39	41	42	43
>170	151	40	42	43	43
Содержание легкогидролизуемого азота в почве 51–100 мг/кг					
≤80	141	32	34	35	36
81–120	169	33	36	36	38
121–170	175	34	36	37	38
>170	180	35	37	38	39
Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤100 мг/кг					
≤80	148	22	24	26	26
81–120	156	24	27	28	29
121–170	179	26	28	29	29
>170	182	26	28	29	30

азотных удобрений по сравнению с зерновыми предшественниками. Это хорошо видно на представленном материале (табл. 7, 8).

Содержание гумуса достаточно ощутимо влияло на прирост урожайности льна-долгунца, возделываемого как после зернового предшественника, так и после многолетних трав. Однако влияние содержания подвижного калия в почве на прирост урожайности проявилось по-разному.

После зернового предшественника прибавка урожая за счет улучшения калийного режима почв превосходила таковую там, где лен возделывали после многолетних бобово-злаковых трав.

Эффект от внесения азотных удобрений в большей степени проявился в опытах, где лен-долгунец возделывали после зерновых культур. При этом разница в прибавке урожая от увеличения обеспеченности почв подвижным калием оказалась

Таблица 7. Влияние содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах на урожайность льна-долгунца и эффективность азотных удобрений в Северо-Западном федеральном округе

рН, ед.	Содержание K ₂ O, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожая, ц/га			
			дозы азота, кг/га			
			20	40	60	80
Предшественник – зерновые культуры						
Содержание гумуса ≤1.5%						
≤5.0	≤40	18.0	4.0	5.4	5.6	4.6
	41–80	21.5	4.3	5.8	6.0	4.9
	81–120	23.9	4.4	5.9	6.1	5.1
	121–170	25.4	4.5	5.9	6.2	5.1
5.1–5.5	≤40	20.7	4.4	5.8	6.1	5.0
	41–80	24.2	4.7	6.2	6.4	5.3
	81–120	26.6	4.9	6.3	6.5	5.5
	121–170	28.1	4.9	6.4	6.6	5.5
Содержание гумуса 1.5–2.0%						
≤5.0	≤40	18.9	3.0	4.1	4.3	3.4
	41–80	22.3	3.3	4.4	4.6	3.8
	81–120	24.8	3.5	4.6	4.8	3.9
	121–170	26.3	3.5	4.6	4.8	4.0
5.1–6.0	≤40	21.6	3.4	4.5	4.7	3.9
	41–80	25.0	3.7	4.8	5.0	4.2
	81–120	27.5	3.9	5.0	5.2	4.3
	121–170	29.0	3.9	5.0	5.2	4.4
Содержание гумуса >2.0%						
≤5.0	≤40	20.3	2.3	3.1	3.2	2.7
	41–80	23.8	2.7	3.4	3.5	3.0
	81–120	26.2	2.8	3.6	3.7	3.2
	121–170	27.7	2.9	3.6	3.7	3.2
5.1–6.0	≤40	23.0	2.7	3.5	3.6	3.1
	41–80	26.5	3.1	3.8	3.9	3.4
	81–120	28.9	3.2	4.0	4.1	3.6
	121–170	30.4	3.3	4.0	4.1	3.6

Таблица 8. Влияние содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах на урожайность льна-долгунца и эффективность азотных удобрений в Северо-Западном федеральном округе

рН, ед.	Содержание K ₂ O, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожая, ц/га			
			дозы азота, кг/га			
			20	40	60	80
Предшественник – многолетние травы						
Содержание гумуса ≤1.5%						
≤5.0	≤40	18.4	2.5	2.5	2.1	1.4
	41–80	20.4	2.8	2.8	2.4	1.6
	81–120	21.3	2.9	2.9	2.5	1.8
	121–170	21.2	2.9	2.9	2.5	1.8

Таблица 8. Окончание

рН, ед.	Содержание K ₂ O, мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожая, ц/га			
			дозы азота, кг/га			
			20	40	60	80
Предшественник — многолетние травы						
Содержание гумуса ≤1.5%						
5.1–5.5	≤40	19.8	2.6	2.5	2.2	1.4
	41–80	21.8	2.8	2.8	2.4	1.7
	81–120	22.8	3.0	3.0	2.6	1.8
	121–170	22.6	3.0	3.0	2.6	1.8
Содержание гумуса 1.5–2.0%						
≤5.0	≤40	22.8	2.4	2.3	2.0	1.2
	41–80	24.8	2.6	2.6	2.2	1.5
	81–120	25.8	2.8	2.8	2.4	1.6
	121–170	25.7	2.8	2.8	2.4	1.6
5.1–5.5	≤40	24.2	2.4	2.4	2.0	1.3
	41–80	26.2	2.7	2.7	2.3	1.5
	81–120	27.2	2.8	2.8	2.4	1.7
	121–170	27.1	2.8	2.8	2.4	1.7
Содержание гумуса >2.0%						
≤5.0	≤40	30.6	1.9	1.8	1.5	0.7
	41–80	32.6	2.1	2.1	1.7	1.0
	81–120	33.6	2.3	2.3	1.9	1.1
	121–170	33.5	2.3	2.3	1.9	1.1
5.1–5.5	≤40	32.0	1.9	1.9	1.5	0.8
	41–80	34.0	2.2	2.2	1.8	1.0
	81–120	35.0	2.3	2.3	1.9	1.2
	121–170	34.9	2.3	2.3	1.9	1.2

невысокой. В большей степени на изменение данного показателя повлияло содержание гумуса. Наиболее высокие урожаи получены при возделывании льна-долгунца после бобово-злаковых трав при содержании гумуса >2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования свидетельствуют о том, что уровень содержания подвижного калия играет важную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и эффективности применения под них азотных удобрений. Согласно полученным данным, наилучший эффект был получен на почвах Нечерноземной зоны, включая дерново-подзолистые, серые лесные и черноземы выщелоченные. Среди изученных культур выделялась озимая пшеница, которая лучше других реагировала на увеличение содержания подвижного калия в почве, а также и на внесение азотных

удобрений. На дерново-подзолистых и серых почвах ее урожайность возрастала в 3 раза, на черноземах выщелоченных — в 2.5 раза, тогда как на таких же почвах урожайность яровой пшеницы увеличивалась в 1.2–1.3 раза, картофеля — в 1.5 раза и льна-долгунца в зависимости от предшественника — в 1.7–1.9 раза.

Проведенные исследования позволили также установить еще одну важную функцию калийных удобрений и обосновать влияние подвижного калия, накопленного в почвах в результате систематического внесения калийных удобрений, на эффективность применения азотных удобрений. Это дает возможность компенсировать недобор урожая от калийных удобрений, который образуется на почвах, повышенно- или высокообеспеченных подвижным калием. Согласно полученным данным, средняя прибавка урожая на почвах, где содержание K₂O превышало 120 мг/кг, составила на дерново-подзолистых почвах 8.6, на серых

лесных — 6.6, на черноземах выщелоченных — 4,2 ц/га, тогда как от калийных удобрений соответственно 0.5, 1.6 и 0.6 ц/га [10]. Аналогичные данные получены и для других культур.

Следовательно, при определении потребности в калийных удобрениях необходимо ориентироваться не только на получение запланированного урожая, но и повышение калийного уровня почв с низким содержанием K_2O .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г.* Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999, 329 с.
2. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П.* Калий и калийные удобрения. Прак. рук-во. М.: Ледум, 2000, 185 с.
3. *Шафран С.А., Ермаков А.А., Виноградова С.Б., Семенова А.И.* Изменение плодородия почв Нечерноземной зоны за 50-летний период // Агрохим. вестн. 2021. № 5. С. 3–7.
4. *Чичкин А.П.* Агроэкологические основы воспроизводства почвенного плодородия и формирования урожая на обыкновенных черноземах Среднего Заволжья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. 1999, 57 с.
5. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. М.: ВНИИА, 2016. 96 с.
6. Рекомендации. Как с наибольшей пользой применить удобрения под картофель. М.: ВНИИА, 2015. 40 с.
7. Система оценки влияния агрохимических факторов на формирование урожайности льна-долгунца. М.: ВНИИА, 2016. 124 с.
8. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Поляков В.А., Покровская Г.П., Шулегина М.В., Рысев М.Н.* Научно-методические основы оптимизации доз удобрений под основные сельскохозяйственные культуры по агрохимическим, экономическим и экологическим параметрам / Под ред. А.Н. Небольсина. СПб.: ЛНИИСХ, 2003. 75 с.
9. *Петрова Л.И., Анюшина Т.Г.* Оптимальные параметры агрохимических свойств окультуренной дерново-подзолистой почвы в льняном севообороте // Сб. научн. тр. ВНИИА. Вып. XXIII. 1986. С. 92–101.
10. *Шафран С.А.* Влияние содержания подвижного калия в почвах на урожайность зерновых культур и затраты калийных удобрений на ее формирование // Агрохимия. 2023. № 4. С. 3–10.

Importance of Providing Soils with Mobile Potassium in Increasing the Yield and Efficiency of Nitrogen Fertilizers

S. A. Saffran[#]

*Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

[#]*E-mail: shafran38@mail.ru*

The results of a study devoted to the study of the effect of the content of mobile potassium in various soils on the yield of major crops and the effectiveness of the use of nitrogen fertilizers for them are presented. According to the data obtained, the availability of mobile potassium in soils plays a very significant role in increasing the yield of cereals, potatoes and flax. To the greatest extent, this affected sod-podzolic soils, on which the yield increase was higher due to an increase in their potash level and a higher return on nitrogen fertilizers. Among the studied crops, winter wheat stood out, which reacts better than others not only to an increase in the K_2O content in the soil, but also in general to their agrochemical cultivation. On sod-podzolic and gray forest soils, its yield increased 3 times, on leached chernozems — 2.5 times, whereas on the same soils, the yield of spring wheat increased 1.2–1.3 times, potatoes — 1.5 times and flax, depending on the predecessor — 1.7–1.9 times. The dependence of the efficiency of nitrogen fertilizers on the content of mobile potassium in soils has been established.

Keywords: mobile potassium, yield, nitrogen fertilizers, yield increase, fertilizer efficiency.

УДК 631.81:631.51:631.46

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА[§]

© 2024 г. А. Н. Федоренко¹, Г. В. Мокриков¹, К. Ш. Казеев^{1,*},
М. С. Нижельский¹, В. В. Вилкова¹, С. И. Колесников¹

¹Южный федеральный университет
344090 Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 194/1, Россия

*E-mail: kamil_kazeev@mail.ru

В полевых условиях изучили влияние жидких минеральных удобрений и карбамидаммачной селитры (ЖКУ и КАС) в агроценозах гороха, нута, кориандра и льна на биологическую активность черноземов, длительное время обрабатываемых с использованием нулевой технологии. Среди биологических параметров оценили активность ферментов, участвующих в цикле углерода (инвертазы, дегидрогеназы), интенсивность дыхания почв, численность микроорганизмов, содержание активного углерода. Отмечено различие в эффектах применения удобрений на урожай и разные параметры биологической активности. Биологическая активность исследованных почв различалась в зависимости от вида минерального удобрения, а также выращиваемой культуры.

Ключевые слова: биодиагностика, ферментативная активность почв, плодородие, нулевая технология, дыхание почв.

DOI: 10.31857/S0002188124030023, **EDN:** DNXHTV

ВВЕДЕНИЕ

Технология нулевой обработки (**No-Till** или прямого посева) является одним из приемов минимального воздействия техники на почву и широко распространена во многих странах мира [1, 2]. Преимущества технологии состоят не только в экономии ресурсов и повышении рентабельности сельского хозяйства, но и в улучшении экологического состояния почв: сохранении и восстановлении плодородия, снижении эрозии, увеличении влажности почв, снижении зависимости от погодных условий (в том числе засухи), улучшении плодородия почв [3–5]. Выращивание озимой пшеницы по технологии прямого посева на юге России обеспечивает наивысшую рентабельность производства [6].

Повышение плодородия почв для обеспечения роста урожайности и качества продукции является одной из важнейших задач сельского хозяйства. Применение жидких минеральных удобрений (**ЖМУ**) набирает все большую актуальность из-за своих преимуществ по сравнению с твердыми минеральными удобрениями по эффективности.

Преимущества применения **ЖМУ** связаны с доступностью форм действующих веществ для растений, высокой концентрацией действующего вещества, меньшей потребностью во влаге, высокой равномерностью внесения, универсальностью и высокой экологичностью [7–9]. Эффективность удобрений зависит от конкретных природных и агротехнических условий, оптимальности вносимых доз, а также от сроков и способов их внесения. В настоящее время использование удобрений обходится недешево, поэтому применять их нужно так, чтобы оправдать затраты и получать прибыль, не нанося при этом ущерба окружающей среде [10].

Содержание гумуса является интегральным показателем плодородия почвы [10]. Органический углерод занимает ведущую роль в глобальных изменениях природной среды, которые затрагивают процессы биогеохимического цикла углерода, основанного на постоянном взаимодействии противоположных процессов синтеза и биодеструкции. Изменения устойчивости цикла углерода являются актуальными в сфере исследований, посвященных круговороту биологических веществ [11, 12]. Интенсивность эмиссии CO_2 определяется биологической активностью, которая определяет депонирование и минерализацию органического вещества в почвах [13–15]. Эмиссию CO_2 из почвы

[§]Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ-449.2022.5) и гранта Министерства науки и высшего образования РФ на создание Лаборатории молодых ученых (№ ЛабНОЦ-21-01АБ).

объясняют рядом различных процессов: кратковременными эффектами — проявляющимися сразу после вспашки и более долгосрочными эффектами — в течение основного вегетационного периода [16]. Кратковременные эффекты обусловлены физическим нарушением почвы и растительных остатков. Долгосрочные выбросы CO_2 связаны со сложными взаимодействиями между различными факторами, определяющими выбросы (температурой, количеством осадков, содержанием воды, остатками культур) [17, 18]. Эмиссия углекислого газа резко увеличивается после вспашки почвы, при минимизации воздействия на почву при использовании технологии No-Till выделение углекислого газа уменьшается [19–21]. Таким образом, эмиссия углекислого газа почв зависит от широкого спектра факторов, находящихся в постоянной динамике.

Актуальность исследования заключалась в изучении эффективности и экологичности использования жидких минеральных удобрений. Цель работы — оценка влияния жидких минеральных удобрений на биологическую активность почв агроценозов юга России при использовании технологии прямого посева. Для оценки качества и здоровья почв определяли разные показатели биологической активности: интенсивность эмиссии углекислого газа — дыхание почв, численность микроорганизмов и активность почвенных ферментов, участвующих в основных циклах питания растений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования площадью 5500 га располагался на территории хозяйства ИП “Мокриков В.И.” в центральной части Ростовской обл. в Октябрьском р-не. Поля хозяйства обрабатывают в течение 15 лет по технологии прямого посева. Исследованные почвы отнесены к чернозему обыкновенному (миграционно-сегрегационному, *Harlic Chernozem*), исследования плодородия и экологического состояния которого представлены в литературе [22–24]. Некоторые аспекты изменения биологической активности почв при

переходе на прямой посев на исследованной территории представлены в работе [25].

Полевые исследования были проведены в весенне-летний период 2022 г. Опытные поля были заняты различными сельскохозяйственными культурами, возделываемыми по технологии прямого посева. Исследованные варианты с внесением минеральных удобрений располагались на полях с культурами гороха, нута, льна и кориандра. Почвенные образцы отобраны в соответствие с вегетационными периодами: всходы, бутонизация, полная спелость культуры (3 срока наблюдений). Опытные варианты под разными культурами обрабатывали либо одним видом минерального удобрения, либо их комбинацией. В качестве удобрений использовали жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) и карбамидо-аммиачную смесь (КАС). Дозы внесения удобрений, а также содержание элементов питания в почве представлены в табл. 1.

В каждом варианте отбирали по 3 индивидуальных образца почв в 3–5-ти м друг от друга с глубины 0–10 см. Географические координаты определяли GPS-навигатором Garmin. Температуру воздуха и почв определяли электронным термометром HANNA CHEMTEMP, влажность почвы — в полевых условиях влагомером Fieldscout TDR100 компании Spectrum Technologies inc. в 10-кратной повторности на каждом участке. Скорость эмиссии углекислого газа — дыхание почв — определяли камерным методом с помощью газоанализатора EGM-5 (PP SYSTEM). Камерные методы определения эмиссии углекислого газа с применением газоанализаторов широко распространены в почвоведении и экологии [26–30]. Повторность опыта (количество изолирующих камер) — десятикратная.

Лабораторно-аналитические исследования были выполнены на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета с использованием методов, распространенных в экологии, биологии и почвоведении [24]. О ферментативной активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз

Таблица 1. Схема внесения минеральных удобрений на опытных участках с применением технологии прямого посева

Вариант	Плотность удобрений, кг/л	Доза внесения, л/га (кг/га)	Содержание элементов питания в удобрениях, %			Внесено элементов питания, кг д.в./га		
			N	P	K	N	P	K
Контроль	—	—	—	—	—	—	—	—
ЖКУ	1.4	100 (140)	11	37	—	15.4	51.8	—
КАС	1.32	100 (132)	32	—	—	42.2	—	—
ЖКУ +	1.4	100 (140) +	11	37	—	15.4	51.8	—
+ КАС	1.32	+ 100 (132)	32	—	—	42.2	—	—

(дегидрогеназ) и гидролаз — (инвертазы). Активность дегидрогеназ определялась по методике Галстяна, инвертазы — колориметрическим методом с реактивом Феллинга. Контролем для определения активности ферментов служили субстраты без почвы. Опыты выполняли в девятикратной повторности. Определение активного углерода проводили окислением перманганатом калия модифицированным методом Блейра. Общую численность бактерий определяли методом люминесцентной микроскопии с окрашиванием проб акридиновым оранжевым на инвертированном микроскопе AXIO Vert A1 “ZEISS”.

Были определены показатели вариации, а также для достоверно значимых результатов проведен корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия в период проведения опыта были типичными для исследованного региона. Гидротермические условия в значительной степени определяют уровень биологической активности почв. Результаты измерения влажности почвы показали незначительные различия между исследованными участками полей. Более существенные изменения гидротермических условий были выявлены в разные месяцы исследованного периода (табл. 2).

В мае почва участка, на котором выращивали горох с применением минеральных удобрений, была менее влажной, чем почва контрольного участка. Почва, на которой выращивали нут с применением

удобрения ЖКУ, была менее влажной (на 15% меньше контроля), чем с применением ЖКУ + КАС (на 6% больше контроля). В июне почва, на которой возделывали горох с применением ЖКУ + КАС, была менее влажной, чем почва контрольного участка той же культуры (на 7% меньше контроля). На участках с возделыванием нута и льна применение минеральных удобрений не способствовало сохранению влажности почв (на 14–26% меньше контроля). В июле на участках с внесением минеральных удобрений была отмечена высокая влажность по сравнению с контролем (на 7–43% больше контроля).

В период наблюдения эмиссия углекислого газа была максимальной в июне, т.к. данный срок являлся наиболее благоприятным для биологической активности почв на юге России [22, 23].

Внесение ЖКУ на участках с горохом и кориандром положительно повлияло на эмиссию углекислого газа (рис. 1).

В этих вариантах показатели были больше контрольных на 16 и 37%, в то время как на участке с нутом оно способствовало снижению эмиссии на 43% меньше контроля. На участке со льном достоверных отличий от контроля не было найдено. Внесение КАС на участках со льном и кориандром способствовало максимальной эмиссии углекислого газа (на 96 и 114% больше контроля). Достоверных отличий от контроля при внесении КАС на участках с горохом и нутом не было найдено. Внесение ЖКУ + КАС способствовало наиболее выраженной эмиссии углекислого газа на участках со льном и кориандром (на 39 и 68% больше контроля). Совместное действие ЖКУ + КАС

Таблица 2. Экологические параметры почв участков с бобовыми культурами

Показатель	Горох			Нут		
	май	июнь	июль	май	июнь	июль
Температура поверхности, °С	16.1	40.5	28.0	14.4	31.4	—
Влажность почвы, %	35.8	17.9	7.5	33.2	28.4	5.4

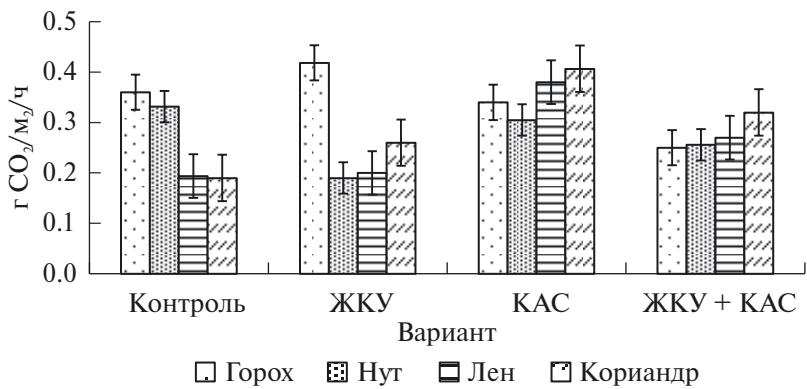


Рис. 1. Эмиссия CO₂ при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

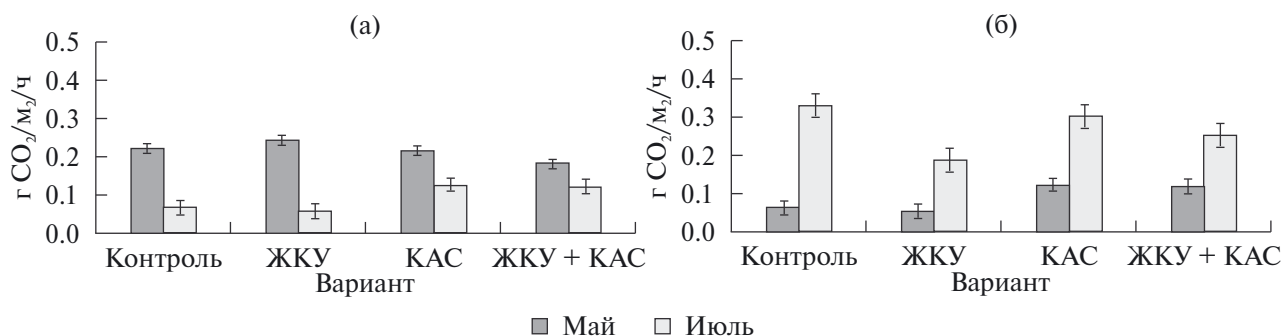


Рис. 2. Эмиссия СО₂ при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) — горох, (б) — нут.

проводило к снижению эмиссии углекислого газа на участках с нутом и горохом (на 23 и 31% меньше контроля). Было отмечено, что чернозем под горохом продуцировал значительно больше углекислого газа по сравнению с почвой под нутом в течение всего периода наблюдения.

На участках с бобовыми культурами в мае и июле наблюдали существенные различия величины эмиссии углекислого газа (рис. 2).

В мае на участке с горохом внесение ЖКУ положительно повлияло на эмиссию углекислого газа (на 11% больше контроля), в то время как на участке с нутом способствовало снижению эмиссии (на 15% меньше контроля). Внесение КАС и ЖКУ + КАС на участке с горохом не способствовало увеличению эмиссии углекислого газа (на 3–17% меньше контроля). Однако на участке с нутом данные удобрения положительно повлияли на эмиссию (на 91 и 85% больше контроля). В июле внесение ЖКУ и ЖКУ + КАС на участке с горохом не способствовало эмиссии углекислого газа (на 25 и 20% меньше контроля). На участке с нутом данные удобрения оказали такое же влияние (на 60 и 41% меньше контроля). На участке с горохом внесение КАС положительно повлияло на эмиссию углекислого газа (на 48%

больше контроля), в то время как на участке с нутом способствовало снижению эмиссии (на 17% меньше контроля). Различия показателей эмиссии углекислого газа между культурами объясняются сезонными изменениями температуры и влажности почвы (табл. 2).

По шкале обогащенности почв активным углеродом балльная оценка чернозема находилась в пределах от 60 до 80 баллов [31]. Высокие показатели содержания активного углерода указывали на тенденцию к накоплению большего количества органического вещества в почве в результате сокращения механического воздействия на почву при нулевой технологии обработки (рис. 3).

На участках с горохом и нутом при внесении ЖКУ наблюдали увеличение содержания активного углерода (на 24–29% больше контроля). Достоверных отличий на участках со льном и кориандром не было выявлено. Внесение КАС на участках с горохом и кориандром привело к снижению содержания активного углерода (на 14% меньше контроля). Достоверных отличий на участках с нутом и льном не было выявлено. Наибольшее содержание активного углерода было на участках с горохом, льном и кориандром при внесении ЖКУ + КАС (на 26%

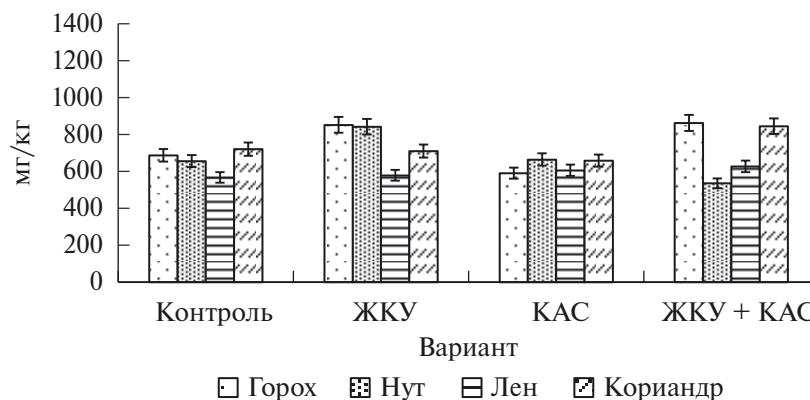


Рис. 3. Содержание активного углерода при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

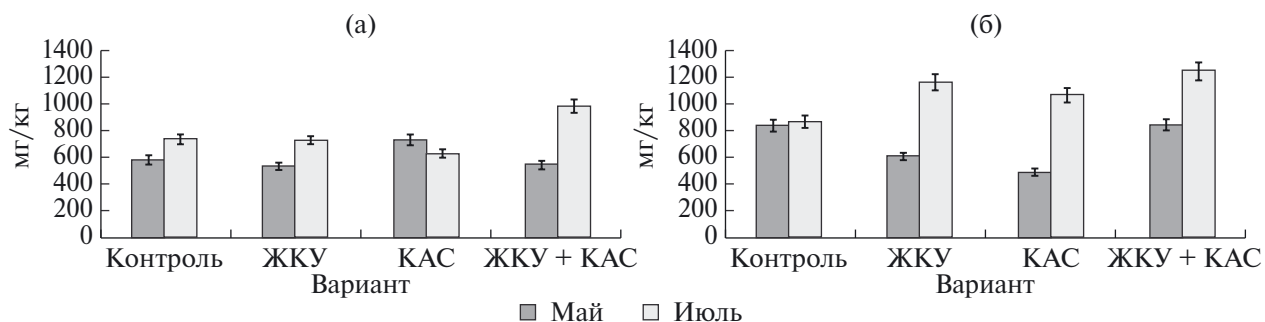


Рис. 4. Содержание активного углерода при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

больше контроля), тогда как на участке с нутом эффект был обратным (на 18% меньше контроля).

На участках с бобовыми культурами в мае и июле наблюдали существенные различия содержания активного углерода (рис. 4).

В мае на участке с горохом при внесении удобрения КАС содержание активного углерода было больше (на 26% больше контроля), чем в вариантах с ЖКУ и ЖКУ + КАС. Применение ЖКУ и КАС на участке с нутом отрицательно повлияло на содержание активного углерода (на 27–42% меньше контроля). Достоверных отличий совместного действия ЖКУ + КАС на данный показатель не было обнаружено.

Наибольшее содержание активного углерода отмечено в июле. На участке с горохом при внесении КАС содержание активного углерода было меньше (на 15% меньше контроля). Достоверных отличий действия ЖКУ на данный показатель не было обнаружено. Высокое содержание активного углерода наблюдали при внесении ЖКУ + КАС (на 32% больше контроля). На участке с нут во всех вариантах с внесением минеральных удобрений отмечено высокое содержание активного углерода по сравнению с контролем.

В данном исследовании численность бактерий в почве оказалась значительно менее зависимой от выращиваемых культур и применения удобрений. При этом ранее был установлен факт повышения численности микроорганизмов при использовании прямого посева по сравнению с вспашкой [20]. Различия в обилии микроорганизмов между почвами с разной технологией основной обработки усиливаются при использовании метода посева на селективные питательные среды. При этом использование метода посева часто осложнено значительными флуктуациями численности микроорганизмов [24]. Результаты определения численности бактерий показали, что в почве контрольных вариантов в июне было в среднем 2.9 млрд/г почвы. К июлю численность незначительно возросла до 3.1 млрд/г. По шкале оценки степени обогащенности почв микроорганизмами почвы имели “среднюю обогащенность” бактериями по Звягинцеву).

Внесение ЖКУ на участке с горохом положительно повлияло на активность дегидрогеназ (на 22% больше контроля), в то время как на участке с кориандром данное удобрение способствовало снижению активности фермента (на 41% меньше контроля) (рис. 5).

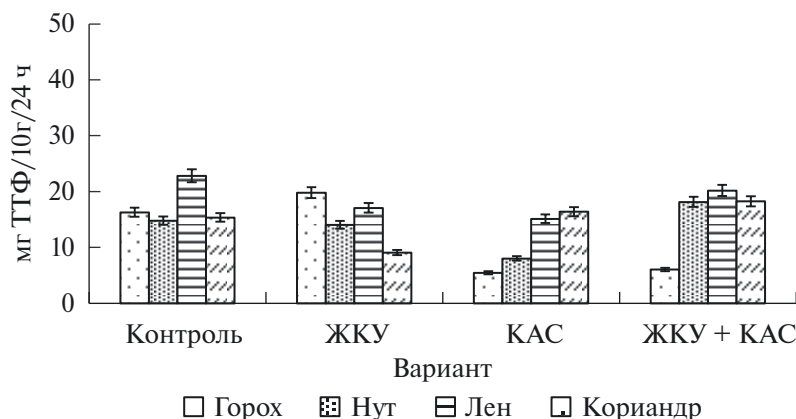


Рис. 5. Активность дегидрогеназ при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

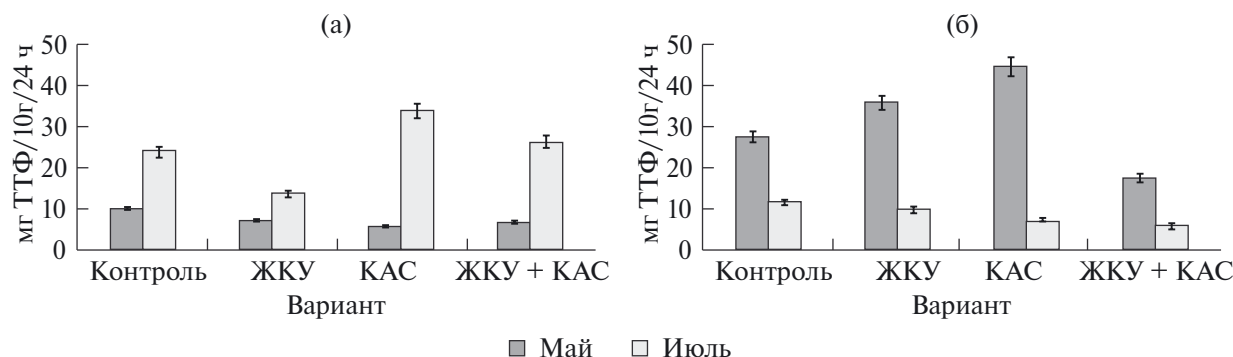


Рис. 6. Активность дегидрогеназ при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

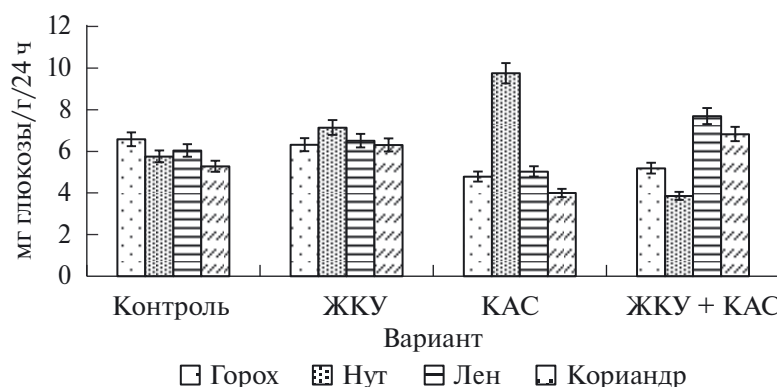


Рис. 7. Активность инвертазы при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

На участке с нутом достоверных отличий от контрольного варианта не было найдено. Внесение КАС на участках с горохом, нутом и льном отрицательно повлияло на активность дегидрогеназ (на 66, 46 и 34% меньше контроля соответственно). На участке с кориандром достоверных отличий от контрольного варианта не было найдено. Внесение ЖКУ + КАС на участке с горохом и льном оказало угнетающее воздействие на активность дегидрогеназ (на 63 и 11% меньше контроля). Однако на участках с нутом и кориандром совместное применение ЖКУ + КАС положительно повлияло на активность фермента (на 23 и 19% больше контроля).

На участках с бобовыми культурами в мае и июле наблюдали существенные различия активности дегидрогеназ (рис. 6).

В мае низкие показатели отмечены на участке с горохом при внесении КАС (на 48% меньше контроля) и на участке с нутом при внесении ЖКУ + КАС (на 49% меньше контроля). В июле активность дегидрогеназ была высокой на участках с горохом и нутом при внесении КАС (на 42 и 62% больше контроля). Отрицательное воздействие на участке с горохом оказало действие ЖКУ (на 44% меньше контроля), на участке с нутом – ЖКУ + КАС (на 37% меньше

контроля). Отмечена достоверная зависимость между активностью дегидрогеназ и гидротермическими условиями: для температуры – умеренная положительная ($r = 0.52$), для влажности – умеренная отрицательная ($r = -0.69$). Степень обогащенности почвы ферментом характеризовалась как “бедная” в течение всего периода наблюдений.

На участках с нутом и кориандром внесение ЖКУ положительно повлияло на активность инвертазы (на 24 и 19% больше контроля) (рис. 7).

На участке со льном достоверных отличий от контрольного варианта не было найдено. Внесение КАС на участках с горохом, льном и кориандром отрицательно повлияло на активность инвертазы (на 27, 17 и 24% меньше контроля). На участке с нутом внесение КАС способствовало повышению активности фермента (на 69% больше контроля). Внесение ЖКУ + КАС на участке с горохом и нутом оказало угнетающее воздействие на активность инвертазы (на 21 и 33% меньше контроля). Однако на участках со льном и кориандром совместное применение ЖКУ + КАС положительно повлияло на активность фермента (на 27 и 29% больше контроля).

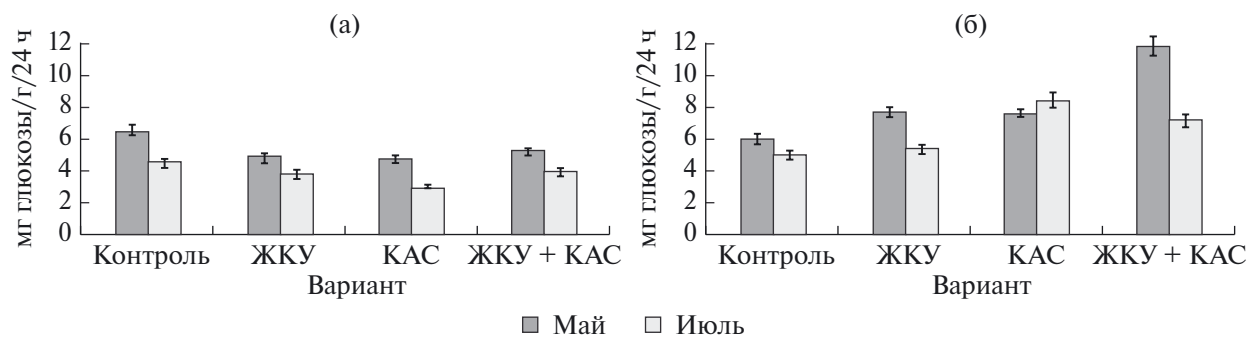


Рис. 8. Активность инвертазы при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

Таблица 3. Урожайность культур, ц/га

Культура	Вариант			
	Контроль	ЖКУ	КАС	ЖКУ + КАС
Горох	16.4	14.6	14.1	14.0
Нут	9.8	9.1	12.2	11.4
Лен	9.7	10.9	10.8	11.3
Кориандр	12.9	14.6	14.1	15.2

На участках с бобовыми культурами в мае и июле отмечены существенные различия активности инвертазы (рис. 8).

Внесение минеральных удобрений на участке с горохом отрицательно повлияло на активность инвертазы. В мае внесение ЖКУ и КАС одинаково повлияло на активность фермента (на 25 и 28% меньше контроля). На участке с нутом внесение минеральных удобрений способствовало повышенной активности фермента. Максимальная активность фермента отмечена при внесении ЖКУ + КАС (на 96% больше контроля). Внесение ЖКУ и КАС одинаково повлияло на активность фермента (на 26 и 24% больше контроля). В июле внесение ЖКУ и ЖКУ + КАС одинаково влияло на активность фермента (на 15 и 13% меньше контроля). На участке с нутом внесение минеральных удобрений способствовало повышенной активности фермента. Высокая активность инвертазы отмечена при внесении КАС и ЖКУ + КАС (на 67 и 41% больше контроля). Внесение ЖКУ и КАС одинаково повлияло на активность фермента (на 26 и 24% больше контроля). Достоверной зависимости между активностью фермента группы гидролаз (инвертазы) и исследованными показателями не было найдено.

После уборки культур проведен подсчет урожайности на участках с возделыванием гороха, нута, льна и кориандра (табл. 3).

Показано, что на каждую из культур внесение минеральных удобрений повлияло по-разному. На полях с горохом ни одно из удобрений

не способствовало повышению его урожайности. На полях с нутом были эффективны КАС и ЖКУ + КАС. На полях со льном и кориандром положительно повлияло совместное действие ЖКУ + КАС. Отмечена слабая положительная зависимость между величинами почвенного дыхания и урожайности ($r = 0.39$). Кроме этого, отрицательная связь прослежена между величинами урожайности и содержания активного углерода ($r = -0.41$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, было отмечено, что биологическая активность исследованных почв с нулевой обработкой различалась в зависимости от вида минерального удобрения, а также выращиваемой культуры. Выявлено положительное влияние ЖКУ при выращивании гороха, на выращивание нута положительно повлияла КАС, на выращивание льна и кориандра – ЖКУ + КАС. Отрицательное влияние на биологическую активность почв в агроценозах бобовых культур оказывало совместное внесение ЖКУ и КАС, льна и кориандра – КАС. Среди изученных параметров наиболее информативными были эмиссия углекислого газа, активность дегидрогеназ и инвертазы. Отмечена динамика биологической активности в зависимости от гидротермических условий и фаз вегетации растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Soane B.D., Bal B.C.* Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25-year experiment on barley in Scotland // *Soil Till. Res.* 1998. V. 45. P. 17–37.
2. *Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J.* No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // *Soil Till. Res.* 2012. V. 118. P. 66–87.
3. *Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Река Ю.В.* Выращивание озимой пшеницы по технологии прямого посева в условиях Ростовской области // *Совр. пробл. науки и образ-я.* 2012. № 6. С. 670.
4. *Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // *Почвоведение.* 2014. № 6. С. 724–733.
5. *Struijk M., Whitmore A.P., Mortimer S.R., Sizmur T.* Obtaining more benefits from crop residues as soil amendments by application as chemically heterogeneous mixtures // *Soil.* 2020. V. 6. P. 467–481.
6. *Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Шуркин А.Ю.* Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // *Земледелие.* 2018. № 5. С. 4–7.
7. *Титова В.И., Малышева М.К.* Влияние жидкого комплексного удобрения “ЖКУ 11–37–0” на продуктивность гороха посевного в условиях вегетационного опыта // *Перм. аграрн. вестн.* 2017. № 1(17). С. 49–54.
8. *Милюткин В.А., Иванов В.А., Попов А.В.* Перспективные инновационные техника и технологии для внесения жидких азотных минеральных удобрений КАС // *Изв. Самар. ГСХА.* 2022. № 1. С. 38–47.
9. *Уфимцев А.Е., Уфимцева М.Г., Абрамов Н.В.* Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения // *Изв. Оренбург. ГАУ.* 2022. № 4(96). С. 18–23.
10. *Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В.* Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2008. 416 с.
11. *Куприянова Ю.В., Любимов И.С., Копчик Г.Н.* Биодеструкция органического вещества почв как важнейшее звено биогеохимического цикла углерода в лесных экосистемах Кольской Субарктики // *Тр. Ферсман. научн. сессии ГИ КНЦ РАН.* 2017. № 14. С. 429–432.
12. *Кудяров В.Н.* Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналит. обзор) // *Почвоведение.* 2018. № 6. С. 643–658.
13. *Шевцова Л.К.* Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов // *Агрохимия.* 2000. № 9. С. 5–10.
14. *Лыков А.М.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: РАСХН, ВНИИТИОУ, 2004. 630 с.
15. *Смагин А.В.* Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 301 с.
16. *Oorts K., Merckx R., Grehan E., Labreuche J., Nicolardot B.,* Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France // *Soil Till.* 2007. V. 95. P. 133–148.
17. *Mokrikov G., Minnikova T., Kazeev K., Kolesnikov S.* Influence of precipitation and moisture reserves on the yield of crops under different tillage // *Agron. Res.* 2019. V. 17(6). P. 2350–2358.
18. *Minnikova T., Mokrikov G., Kazeev K., Medvedeva A., Biryukova O., Keswani C., Minkina T., Sushkova S., Elgendi H., Kolesnikov S.* Soil Organic carbon dynamics in response to tillage practices in the steppe zone of southern Russia // *Processes.* 2022. V. 10. P. 244.
19. *Lopez-Garrido R., Diaz-Espejo A., Madejon E., Murillo J.M., Moreno F.* Carbon losses by tillage under semi-arid mediterraneanrainfed agriculture (SW Spain) // *Span. J. Agric. Res.* 2009. V. 7. P. 706–716.
20. *Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Мясникова М.А., Акименко Ю.В., Колесников С.И.* Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных // *Агрохимический. вестн.* 2019. № 5. С. 31–36.
21. *Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // *Агрохимия.* 2020. № 10. С. 20–27.
22. *Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И.* Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // *Почвоведение.* 2020. № 11. С. 1412–1422.
23. *Казеев К.Ш., Трушков А.В., Одабашиян М.Ю., Колесников С.И.* Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима // *Почвоведение.* 2020. № 7. С. 901–910.
24. *Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Методы определения ферментативной активности почв. Ростов/нД.: Изд-во ЮФУ, 2021. 174 с.
25. *Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И.* Влияние приемов об-

- работки почв на динамику содержания элементов питания в черноземах обыкновенных Ростовской области // Агрохим. вестн. 2019. Т. 1. № 1. С. 33–36.
26. *Ivanov A.V., Braun M., Tataurov V.* A Seasonal and daily dynamics of the CO₂ emission from soils of *Pinus koraiensis* forests in the south of the Sikhote-Alin Range // *Euras. Soil Sci.* 2018. V. 51(3). P. 290–295.
 27. *Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Khoro-shaev D.A.* The Effect of contrasting moistening regimes on CO₂ emission from the gray forest soil under a grass vegetation and bare fallow // *Euras. Soil Sci.* 2018. V. 51(10). P. 1200–1213.
 28. *Osipov A.F.* Effect of interannual difference in weather conditions of the growing season on the CO₂ emission from the soil surface in the middle-taiga cowberry-lichen pine forest (Komi Republic) // *Euras. Soil Sci.* 2018. V. 51. P. 1419–1426.
 29. *Adkins J., Sanderman J., Miesel J.* Soil carbon pools and fluxes vary across a burn severity gradient three years after wildfire in Sierra Nevada mixed-conifer forest // *Geoderma.* 2019. V. 333. P. 10–22.
 30. *Ступаков А.Г.* Влияние систем обработки почвы на дыхание почвенной биоты чернозема типичного // *Вестн. Курск. ГСХА.* 2014. № 7. С. 56–58.
 31. *Moebius-Clune B.N.* Comprehensive assessment of soil health: The Cornell framework manual. Cornell University, 2016. 134 p.

Effect of Mineral Fertilizers on the Biological Activity of Soils using Direct Seeding Technology

A. N. Fedorenko^a, G. V. Mokrikov^a, K. S. Kazeev^{a, #},
M. S. Nizhelskiy^a, V. V. Vilko^a, S. I. Kolesnikov^a

^a*South Federal University,
ul. Strikes 194/1, Rostov-on-Don 344090, Russia,*

[#]*E-mail: kamil_kazeev@mail.ru*

In the field, the effect of liquid mineral fertilizers and carbamide ammonium nitrate (LMF and CAN) in the agrocenoses of peas, chickpeas, coriander and flax on the biological activity of chernozems treated for a long time using null technology was studied. Among the biological parameters, the activity of enzymes involved in the carbon cycle (invertases, dehydrogenases), the intensity of soil respiration, the number of microorganisms, and the content of active carbon were evaluated. There is a difference in the effects of fertilizers on crops and different parameters of biological activity. The biological activity of the studied soils varied depending on the type of mineral fertilizer, as well as the cultivated crop.

Keywords: biodiagnostics, enzymatic activity of soils, fertility, zero technology, soil respiration.

УДК 631.8:631.51:581.132:633.11“324”:633.63(470.32)

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РЕГИОНЕ

© 2024 г. О. А. Минакова¹, П. А. Косякин^{1,*}, О. К. Боронтов¹, Е. Н. Манаенкова¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова
396030 Воронежская обл., Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86, Россия

*E-mail: kosiakinp@mail.ru

В полевом стационарном опыте на черноземе выщелоченном ЦЧР изучено действие удобрений и обработки почвы на продуктивность фотосинтеза посевов озимой пшеницы и сахарной свеклы. Установлено, что существенный прирост урожая культур достигается благодаря оптимизации обработки почвы и внесению удобрений, а также за счет увеличения суммарной площади поверхности листьев, фотосинтетическая продуктивность работы которой в расчете на единицу листовой поверхности, уменьшалась.

Ключевые слова: озимая пшеница, сахарная свекла, обработка почвы, удобрения, продуктивность фотосинтеза, ассимиляционный аппарат растений.

DOI: 10.31857/S0002188124030039, **EDN:** DNWKON

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции — основа продовольственной безопасности, которая достигается при улучшении агротехники возделывания культур. Интенсивное использование почвы с большим количеством обработок приводит к изменению агрофизических, биологических свойств почвы, ухудшению развития растений. Оптимизация обработок почвы и применение удобрений направлены на создание благоприятных условий для растений [1–3], усиления фотосинтетической активности и роста растений [4–6].

Продуктивность фотосинтеза определяется развитием листовой поверхности и интенсивностью фотосинтетических процессов, приходящихся на единицу листовой поверхности [7, 8]. Оптимальный фотосинтетический потенциал для зерновых культур составляет ≥ 2 млн $\text{м}^2/\text{га}/\text{сут}$ [10]. В условиях Подмосковья фотосинтетический потенциал озимой пшеницы составлял 2.7, в ЦЧР — 2.8 млн $\text{м}^2/\text{га}/\text{сут}$ [11]. Фотосинтетический потенциал сахарной свеклы равен 2.65 млн $\text{м}^2/\text{га}/\text{сут}$ [12].

Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза зависят от агротехники возделывания сельскохозяйственных культур — обработки почвы, удобрения, сорта, стимуляторов роста и др. [13–19]. Цель работы — оценка влияния систем удобрения

и способов обработки почвы на формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы и сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Следование проведено в 2019–2021 гг. в паровом звене 9-польного плодосменного севооборота со следующим чередованием культур: черный пар — озимая пшеница — сахарная свекла — ячмень с подсевом клевера, клевер на 1-й укос — озимая пшеница — сахарная свекла — однолетние травы — кукуруза на зеленый корм. В натуре опыт имеет 9 полей, взождение в схему опыта осуществлено с 1985 г.

Варианты обработки почвы:

А — разноглубинная отвальная обработка: вспашка под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; под ячмень, озимую пшеницу после клевера, однолетние травы — на глубину 20–22 см; под сахарную свеклу — на 30–32 см по схеме улучшенной зяби.

Г — безотвальная (плоскорезная) обработка: под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы — на глубину 20–22 см; под сахарную свеклу — на 30–32 см с предварительным плоскорезным рыхлением на 14–16 см.

Д – комбинированная обработка: вспашка под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; плоскорезная (безотвальная) обработка под озимую пшеницу после клевера, однолетние травы, ячмень на глубину 20–22 см; под сахарную свеклу – на 30–32 см по схеме улучшенной зяби с предварительным плоскорезным рыхлением на 14–16 см.

Удобрения, варианты: 1 – контроль (без удобрений), 2 – навоз 50 т/га в черном пару и под сахарную свеклу в звене с клевером. Внесение минеральных удобрений: под озимую пшеницу после клевера – N60P60K60, под ячмень – N40P40K40, под однолетние травы – N20P20K20, подкормка клевера – N20P20K20, под кукурузу – N60P60K60, под сахарную свеклу в звене с паром – N160P160K160, в звене с клевером – N150P150K150. Всего вносили N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади ежегодно. В качестве минеральных удобрений использовали нитроаммофоску (16: 16: 16), внесенную под основную обработку почвы РУМ-500. Органические удобрения вносили ПТУ-1.0.

Площадь делянки в вариантах обработки почвы – 121 м², внесения удобрений – 112 м², учетная – 20 м², повторность трехкратная. Размещение делянок – методом расщепленных блоков.

Основную обработку почвы проводили, используя плуг ПНО-3-35, плоскорез КППГ-250, дисковый лушитель ЛДГ-10. Учет урожайности озимой пшеницы осуществляли комбайном “Сампо-500”, сахарной свеклы – вручную. Возделывали районированный сорт озимой пшеницы Крастал и гибрид сахарной свеклы РМС 121.

За вегетационный период 2019 г. выпало 201 мм осадков при ГТК = 0.9, за 2020 г. – 182 мм и 0.6, за 2021 г. – 295 мм и 1.0 соответственно, при среднемноголетних показателях 332 мм и 1.2.

Почва стационарного опыта – чернозем выщелоченный малогумусный среднемогучий тяжелоуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое составляло 5.3–5.6% со средним содержанием питательных элементов и оптимальными физическими свойствами [20].

Пробы растений отбирали в основных фазах вегетации культур в 2-х несмежных повторениях. В них определяли прирост сухой надземной биомассы, площадь поверхности листьев (методом высечек), чистую продуктивность фотосинтеза и фотосинтетический потенциал по методике [20], качество корнеплодов сахарной свеклы – на автоматизированном комплексе “Betalyser”, качество зерна озимой пшеницы – по методике [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено изменение показателей фотосинтетической активности посевов озимой пшеницы в зависимости от агротехнических условий выращивания. В фазе весеннего возобновления вегетации площадь поверхности листьев составляла без удобрений 3.4–5.7 тыс. м²/га, с их использованием – 5.7–6.5 тыс. м²/га, или увеличивалась на 14–85% (табл. 1).

Безотвальная обработка почвы уступила по этому показателю отвальной и комбинированной обработкам. К фазе трубкования площадь листьев возросла до 27.9 тыс. м²/га в контрольных вариантах и до 43.9 тыс. м²/га – в удобренных, или в 5 раз.

Различия площади листовой поверхности между вариантами обработки почвы были существенными, а максимальный показатель при комбинированной обработке составил 43.9 тыс. м²/га. Максимальная площадь поверхности листьев формировалась в фазе колошения и при применении удобрений. Она составила: при отвальной обработке почвы – 42.7, при безотвальной – 40.4, при комбинированной – 45.8 тыс. м²/га. К фазе цветения данный показатель снижался на 44–85%, более значительное снижение наблюдали при комбинированной обработке почвы. К фазе молочной спелости снижение этого показателя было более ощутимым, а площадь листьев составила 16.3 тыс. м²/га.

Фотосинтетический потенциал посевов без применения удобрений во всех фазах развития растений был значительно меньше, чем при их применении, и варьировал в зависимости от фаз вегетации при отвальной обработке почвы от 86 до 419, при безотвальной – от 56 до 370, при комбинированной – от 51 до 338 тыс. м²/га/сут. При внесении удобрений фотосинтетический потенциал посевов увеличивался до 660 тыс. м²/га/сут в фазе молочной спелости в варианте отвальной обработки.

За вегетацию без удобрений фотосинтетический потенциал не превышал 1350 тыс. м²/га/сут, при применении удобрений и отвальной обработке он увеличивался до 2030 тыс. м²/га/сут. Безотвальная обработка почвы снизила фотосинтетический потенциал посевов озимой пшеницы на 20% по сравнению с отвальной обработкой.

Формирование надземной сухой массы растений особенно активно происходило в период от весеннего возобновления вегетации до фазы трубкования. При этом накопилось 3.5–9.1 т сухого вещества/га. Наибольший прирост биомассы растений в этот период отмечен в удобренном варианте с комбинированной обработкой почвы.

В последующих фазах развития озимой пшеницы темпы прироста биомассы несколько уменьшились, однако в период от цветения до молочной

Таблица 1. Фотосинтетические показатели посевов озимой пшеницы в зависимости от удобрений и обработки почвы

Дата учета, фаза развития	Системы обработки почвы и удобрения						HCP_{05}
	отвальная		безотвальная		комбинированная		
	0	NPK	0	NPK	0	NPK	
Площадь поверхности листьев, тыс. м ² /га							
10.04. Весеннее возобновление вегетации	5.7	6.5	3.4	5.7	3.4	6.3	1.4
25.05. Трубкавание	27.9	33.9	18.1	26.5	19.0	43.9	3.1
05.06. Колошение	29.2	42.7	27.1	40.4	26.0	45.8	4.7
15.06. Цветение	18.7	36.3	22.6	27.6	14.0	20.1	2.9
05.07. Молочная спелость	14.8	16.3	7.0	10.8	6.1	13.6	2.0
Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² /га/сут							
10.04. Весеннее возобновление вегетации	86	98	51	86	51	95	
25.05. Трубкавание	252	303	161	241	169	375	
05.06. Колошение	353	574	339	502	338	673	
15.06. Цветение	240	395	249	340	200	330	
05.07. Молочная спелость	419	660	370	480	250	421	
Сумма за вегетацию	1350	2030	1170	1650	1010	1900	
Сухая надземная масса растений, т/га							
10.04. Весеннее возобновление вегетации	0.5	0.5	0.2	0.3	0.2	0.6	0.1
25.05. Трубкавание	4.7	5.6	4.3	5.1	3.5	9.1	0.4
10.06. Колошение	7.5	8.6	5.5	8.1	8.4	12.7	0.5
15.06. Цветение	9.3	13.1	9.5	9.6	9.3	12.8	0.9
05.07. Молочная спелость	13.3	17.0	10.4	13.0	11.8	16.4	1.1
Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² /сут							
10.04. Весеннее возобновление вегетации	5.5	5.5	4.8	3.6	4.1	5.9	0.3
25.05. Трубкавание	16.7	16.7	25.2	19.7	19.6	22.7	0.9
05.06. Колошение	7.9	5.2	3.7	6.4	14.5	5.4	0.4
15.06. Цветение	7.6	11.5	16.0	4.7	4.5	0.2	0.4
05.07. Молочная спелость	9.5	5.8	2.5	6.4	10.0	8.4	0.6
Среднее за вегетацию	10.2	8.4	8.9	7.9	11.7	8.6	0.7
Среднее в расчете на зерно, кг/тыс. м ² /га/сут	2.7	2.2	3.2	2.6	3.6	2.4	0.3

спелости они увеличились, и перед уборкой образовывалась максимальная сухая надземная биомасса озимой пшеницы, которая варьировала от 10.4 т/га при безотвальной обработке почвы без удобрений до 16.4 т/га — при комбинированной обработке с применением удобрений. Установлено, что удобрения при отвальной обработке почвы на 28% увеличивали сухую массу растений, при безотвальной — на 25, при комбинированной — на 39% по сравнению с контролем.

Чистая продуктивность фотосинтеза была наиболее высокой в межфазный период весеннего

возобновления вегетации—трубкавания при отвальной обработке — 16.7, при безотвальной — 25.2, при комбинированной — 19.6 г/м²/сут. При применении удобрений величина этого показателя при отвальной обработке не изменялась, при безотвальной — уменьшилась до 19.7 г/м²/сут (на 22%), при комбинированной — увеличилась до 22.7 г/м²/сут, или на 16%.

В более поздних фазах развития чистая продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы сокращалась до 0.2 г/м²/сут. Более стабильной чистая продуктивность фотосинтеза оставалась в период

от колошения до молочной спелости при отвальной обработке без удобрений — 7.6–10.2 г/м²/сут.

В среднем, за вегетацию максимальная продуктивность фотосинтеза определена в контрольных вариантах — 8.9 при безотвальной обработке, 10.2 — при отвальной и 11.7 г/м²/сут — при комбинированной. В удобренных вариантах продуктивность фотосинтеза составила 7.9–8.6 г/м²/сут, или на 11–27% меньше. Можно предположить, что при применении удобрений увеличивался расход энергетических ресурсов на дыхание и транспирацию посевами с более развитой листовой поверхностью [23].

В целом продуктивность фотосинтеза в расчете на зерно составила 2.2–3.6 кг/тыс. м²/га/сут, что согласовалась с результатами исследований других авторов [6, 11].

Урожайность озимой пшеницы не зависела от обработки почвы, а удобрения увеличивали ее на 13–26%. Максимум составил 4.6 т/га при комбинированной обработке почвы (табл. 2).

Условия возделывания озимой пшеницы повлияли не только на фотосинтетические показатели посевов и урожайность, но и на качество зерна. Например, наибольшее содержание белка 13.2–13.6% было при безотвальной и отвальной обработках почвы с применением удобрений. Без удобрений содержание белка снижалось на 0.4–2.3 абс.%. Также в этих вариантах определено наибольшее содержание клейковины — 27.7 и 29.3%, при стекловидности 95.5–95.8%. Наибольший выход муки (72.7 и 75.2%) отмечен в варианте комбинированной обработки почвы.

Фотосинтетическая активность посевов сахарной свеклы характеризует условия выращивания культуры. В начальный период (5 пар настоящих листьев) формирование ассимиляционного аппарата сахарной свеклы происходило медленно, и за 55 сут развития площадь поверхности листьев составила 5.2–12.8, в том числе в удобренных вариантах — 9.7–12.8 тыс. м²/га. Без удобрений площадь листьев снижалась на 40–47%. Также значительно, на 25%, снижалась площадь листьев при

безотвальной обработке по сравнению с отвальной и комбинированной обработками почвы (табл. 3).

Максимальная площадь листьев (13.2–32.3 тыс. м²/га) определена в фазе смыкания листьев в междурядьях. Закономерности, выявленные в начале вегетации, были характерны и для этой фазы развития. В фазе интенсивного сахаронакопления площадь листьев сократилась до 8.1–17.8, в фазе технической спелости — до 4.8–14.1 тыс. м²/га, и различия между вариантами сглаживались. Однако при комбинированной обработке с внесением удобрений площадь листьев оставалась самой высокой.

Фотосинтетический потенциал сахарной свеклы в течение вегетации изменялся соответственно изменению площади листьев — от 142 в фазе 5-ти пар настоящих листьев при безотвальной обработке почвы без удобрений, до 735 тыс. м²/га/сут в фазе интенсивного сахаронакопления при комбинированной обработке почвы с применением удобрений. Установлено, что комбинированная обработка почвы с применением удобрений во всех фазах развития увеличивала фотосинтетический потенциал культуры. Например, в фазе 5-ти пар настоящих листьев он составил 320, в фазе смыкания листьев в междурядьях — 677, в фазе интенсивного сахаронакопления — 735, в фазе технической спелости — 693 тыс. м²/га/сут.

Наибольший фотосинтетический потенциал за вегетацию составил 2430 тыс. м²/га/сут в варианте комбинированной обработки почвы с применением удобрений, что было на 53% больше, чем без удобрений, и на 6% больше, чем при отвальной обработке.

Сухая масса растений увеличивалась с 0.3–0.8 т/га в фазе 5-ти пар настоящих листьев до 9.9–13.8 т/га при технической спелости корнеплодов. Наибольшая сухая масса растений во всех фазах развития образовывалась в варианте комбинированной обработки почвы с применением удобрений, а наименьшая — в контроле при безотвальной обработке. Удобрения увеличивали сухую массу растений при безотвальной обработке на 12, при комбинированной — на 35%

Таблица 2. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от агротехники возделывания

Система		Урожайность, т/га	Содержание, %		Стекловидность, %	Выход муки, %
обработки	удобрения		белок	клейковина		
Отвальная	0	3.60	12.3	25.1	96.8	70.8
	NPK	4.46	13.6	29.3	95.8	71.5
Безотвальная	0	3.80	10.9	20.4	91.8	71.4
	NPK	4.36	13.2	27.7	95.5	72.4
Комбинированная	0	3.77	12.2	24.8	91.8	73.2
	NPK	4.60	12.6	25.0	92.8	72.7
HCP ₀₅		0.3	0.5	1.4		

Таблица 3. Фотосинтетические показатели посевов сахарной свеклы в зависимости от удобрений и обработки почвы

Дата учета, фаза развития	Системы обработки почвы и удобрения						HCP_{05}
	отвальная		безотвальная		комбинированная		
	0	NPK	0	NPK	0	NPK	
Площадь поверхности листьев, тыс. м ² /га							
25.06. 5 пар настоящих листьев	8.1	15.2	5.7	9.7	5.2	12.8	2.5
25.07. Смыкание листьев в междурядьях	22.0	27.0	13.2	21.4	19.2	32.3	2.8
25.08. Интенсивное сахаронакопление	15.0	17.8	8.1	11.7	15.6	16.7	1.7
05.10. Техническая спелость	5.7	8.6	4.8	7.9	5.2	14.1	1.5
Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² /га/сут							
25.06. 5 пар настоящих листьев	203	380	142	242	130	320	
25.07. Смыкание листьев в междурядьях	451	633	284	467	366	677	
25.08. Интенсивное сахаронакопление	555	672	320	497	522	735	
05.10. Техническая спелость	466	594	290	441	468	693	
Сумма за вегетацию	1680	2280	1040	1650	1490	2430	
Сухая масса растений (ботва + корни), т/га							
25.06. 5 пар настоящих листьев	0.5	0.8	0.3	0.6	0.5	0.8	0.2
25.07. Смыкание листьев в междурядьях	3.6	6.4	2.6	4.4	3.5	6.1	0.9
25.08. Интенсивное сахаронакопление	7.1	7.9	3.9	4.5	5.8	9.5	1.1
05.10. Техническая спелость	12.3	12.4	9.9	11.1	10.2	13.8	1.4
Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² /сут							
25.06. 5 пар настоящих листьев	2.5	2.1	2.1	2.3	4.0	2.5	0.2
25.07. Смыкание листьев в междурядьях	6.9	8.8	8.2	8.1	8.1	7.8	0.4
25.08. Интенсивное сахаронакопление	6.3	2.1	3.8	0.2	4.4	4.6	0.2
05.10. Техническая спелость	11.2	7.7	20.7	15.0	9.3	6.2	1.2
Среднее за вегетацию	7.3	5.4	9.5	6.7	6.9	5.7	0.6
Среднее в расчете на сырые корне- плоды, кг/тыс. м ² /га/сут	19.2	16.2	24.0	20.1	18.7	16.5	3.2

и не влияли на этот показатель в варианте отвальной обработки.

Чистая продуктивность фотосинтеза сахарной свеклы в фазе 5-ти пар настоящих листьев составила 2.1–4.0 $г/м^2/сут$, в фазе смыкания рядков она была максимальной (6.9–8.8 $г/м^2/сут$). При этом внесение удобрений и отвальная обработка почвы значительно увеличивали этот показатель. Максимальная продуктивность фотосинтеза определена в период перед уборкой, когда происходил наибольший прирост массы корнеплодов. Установлено, что в этой фазе развития наибольшая чистая продуктивность фотосинтеза была в варианте

безотвальной обработки почвы и составила без удобрений 20.7, при их применении – 15.0, в варианте отвальной обработки эти показатели составили 9.3 и 6.2 $г/м^2/сут$ соответственно.

В целом, за весь вегетационный период чистая продуктивность фотосинтеза составила при отвальной обработке без удобрений 7.3, при безотвальной – 9.5, при комбинированной – 6.9 $г/м^2/сут$. При внесении удобрений величина показателя снижалась на 18–30%. При расчете продуктивности фотосинтеза на урожай сырых корнеплодов максимум (24.0 $кг/тыс. м^2/га/сут$) отмечен в варианте с безотвальной обработкой без удобрений,

Таблица 4. Урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от удобрений и обработки почвы

Система		Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	Содержание ммоль/100 г свеклы			Выход сахара, %	Потери сахара в мелассе, %	Коэффициент извлечения сахара, %
обработки	удобрения				Na ⁺	K ⁺	α-аминовый азот			
Отвальная	0	32.2	18.2	5.9	0.44	4.28	2.30	15.6	1.59	85.8
	NPK	37.0	17.9	6.6	0.53	4.59	2.70	15.2	1.74	84.7
Безотвальная	0	24.9	18.7	4.6	0.42	3.95	2.09	16.2	1.51	86.6
	NPK	33.2	18.4	6.1	0.65	3.88	2.59	15.2	1.65	85.7
Комбинированная	0	27.8	18.3	5.1	0.38	4.05	2.07	16.8	1.51	86.3
	NPK	40.0	18.4	7.4	0.53	3.36	2.09	16.0	1.44	86.7
HCP ₀₅		2.5	0.3	0.4						

минимум (16.2 кг/тыс. м²/га) – с отвальной обработкой и применением удобрений.

Высокая продуктивность фотосинтеза не соответствовала большей урожайности сахарной свеклы. При применении удобрений и отвальной обработке урожайность составила 37.0, при комбинированной – 40.0 т/га (HCP₀₅ = 2.5). Безотвальная обработка на 11% снижала урожайность культуры по сравнению с отвальной. Без применения удобрений урожайность сахарной свеклы снижалась на 23–30% (табл. 4).

Качество сахарной свеклы определяется как сахаристостью, так и технологическими показателями корнеплодов. Установлено, что наибольшая сахаристость была при безотвальной обработке в контроле – 18.7%, однако по выходу сахара на заводе и коэффициенту его извлечения наибольшие показатели были при комбинированной обработке с применением удобрений. Выход сахара составил 16.0, а коэффициент его извлечения – 86.7%, сбор сахара – 7.4 т/га.

ВЫВОДЫ

Наибольший фотосинтетический потенциал озимой пшеницы (1900–2030 тыс. м²/га/сут) и сахарной свеклы (2280–2430 тыс. м²/га/сут) формировался при внесении удобрений и применении разноглубинной отвальной и комбинированной обработок почвы в севообороте.

Максимальная продуктивность фотосинтеза отмечена в варианте без применения удобрений и при комбинированной обработке почвы при возделывании озимой пшеницы – 11.7, сахарной свеклы – 9.5 г/м²/сут при безотвальной обработке.

Основная обработка почвы не влияла на урожайность озимой пшеницы, которая составила в контроле

3.6–3.8 т/га, удобрения увеличивали ее на 13–26% при улучшении качества зерна. Лучшее качество зерна определено в варианте разноглубинной отвальной обработки почвы.

Наибольшая урожайность сахарной свеклы 40.0 т/га, сбор сахара 7.4 т/га и коэффициент его извлечения 86.7% были получены при комбинированной обработке почвы в удобренном варианте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1356–1364.
2. Гостев А.В. Условия формирования зерна высокого качества в высокопродуктивных ресурсосберегающих технологиях ЦЧР // Земледелие. 2019. № 6. С. 18–20.
3. Косякин П.А., Боронтов О.К., Путилина Л.Н., Манаенкова Е.Н. Содержание питательных элементов в черноземе выщелоченном в зависимости от агротехнических и погодных условий возделывания сахарной свеклы в ЦЧР // Агрохимия. 2020. № 2. С. 22–30.
4. Боронтов О.К., Косякин П.А., Безлер Н.В., Манаенкова Е.Н. Влияние основной обработки почвы на микробиологическую активность, питательный режим чернозема выщелоченного и продуктивность сахарной свеклы в ЦЧР // Земледелие. 2022. № 2. С. 44–48.
5. Турусов В.И., Гармашов В.М., Нужная Н.А., Корнилов В.Н. Биологическая активность и питательный режим почвы при различных приемах обработки под однолетние травы // Земледелие. 2020. № 6. С. 25–28.

6. Никитишин В.И., Терехова Л.М., Личко В.И. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза растений в различных условиях минерального питания // *Агрохимия*. 2007. № 8. С. 35–43.
7. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: Изд-во АН СССР. 1965. 170 с.
8. Ничипорович А.А. Теория фотосинтетической продуктивности растений // *Физиология растений*. 1977. № 8. С. 38–44.
9. Шатилов И.С., Замараев А.Г., Духанин Ю.А., Чаповская Г.В. Формирование и продуктивность работы фотосинтетического аппарата сельскохозяйственных растений в севообороте // *Изв. ТСХА*. 1989. Вып. 6. С. 18–26.
10. Шатилов И.С., Замараев А.Г., Духанин Ю.А., Чаповская Г.В., Савич В.И., Замараев А.А., Шаров А.Ф., Исмаилова Н.Х. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 1. Оптимальные параметры системы почва–растение на дерново-подзолистых почвах с целью получения высоких, устойчивых урожаев полевых культур // М.: Агроконсалт, 2004. 366 с.
11. Семьин В.А., Пигорев И.К. Фотосинтетическая продуктивность озимой пшеницы в условиях Черноземья России // *Фундамент. исслед-я*. 2007. № 2. С. 42–47.
12. Косякин П.А., Боронтов О.К., Манаенкова Е.Н. Динамика формирования листовой поверхности сахарной свеклы в зависимости от агротехники возделывания и удобрений // *Сахар. свекла*. 2020. № 6. С. 25–28.
13. Доронина О.С., Кудряшов А.В., Доронина Н.С. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза сахарной свеклы в зависимости от предпосевной обработки семян биопрепаратами и доломитовым порошком // *Нива Поволжья*. 2008. № 3(8). С. 84–86.
14. Ничипорович А.А., Строганов Л.Е., Чмора С.Н. Синтетическая деятельность растений в посевах // М.: Изд-во АН СССР, 1971. 136 с.
15. Подлесных Н.В. Фотосинтетическая деятельность посевов разных видов озимой пшеницы в условиях лесостепи Центрального Черноземья // *Вестн. Воронеж. ГАУ*. 2016. № 2(49). С. 19–30.
16. Соловьев С.В., Гераськин А.И. Агроприемы, регулирующие рост растений и чистую продуктивность фотосинтеза // *Вестн. Мичурин. ГАУ*. 2011. № 2. С. 99–103.
17. Ландербургская А.В., Ефремова Е.В., Ткачук О.А., Богомазов С.В. Фотосинтетическая продуктивность озимой пшеницы в зависимости от элементов биологизации технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья // *Молод. ученый*. 2022. № 6(401). С. 108–111.
18. Кузина Е.В., Шарипов Р.В. Формирование продуктивности посевов озимой пшеницы в зависимости от основных агроприемов возделывания в условиях лесостепи Среднего Поволжья // *Мат-лы Всерос. научн.-практ. конф., посвящ. 110-летию основания Ульяновского НИИСХ*. 2021. С. 74–81.
19. Дворянкин Е.А. Оптимизация возделывания сахарной свеклы. Научн.-практ. рук-во. Воронеж, 2019. 252 с.
20. Боронтов О.К., Косякин П.А., Манаенкова Е.Н. Влияние обработки и удобрений на питательный режим и физические свойства почвы при возделывании сахарной свеклы // *Земледелие*. 2020. № 2. С. 33–35.
21. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев // *Тимирязевские чтения*. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 56 с.
22. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М.: Колос, 1989. 197 с.
23. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 193 с.

Influence of Fertilizer Systems and Tillage Methods on the Formation of the Assimilation Apparatus and Photosynthesis Productivity of Winter Wheat and Sugar Beet in the Central Chernozem Region

O. A. Minakova^a, P. A. Kosyakin^{a,*}, O. K. Borontov^a, E. N. Manaenkova^a

^a*Mazlumov All-Russian Scientific Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
p. VNISS, 86, Voronezh region, Ramonsky district 396030, Russia*

^{*}*E-mail: kosyakinp@mail.ru*

The effect of fertilizers and soil tillage on the photosynthesis productivity of winter wheat and sugar beet crops was studied in a stationary field experiment on leached chernozem of the Central Chernozem region. It was found that a significant increase in crop yield is achieved by optimizing soil tillage and fertilization, as well as by increasing the total area of the leaf surface, the photosynthetic productivity of which decreased per unit of leaf surface.

Keywords: winter wheat, sugar beet, tillage, fertilizers, photosynthesis productivity, plant assimilation apparatus.

УДК 633.71:631.811.98

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРА GROW–В ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ТАБАКА, БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАССАДЫ, УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ТАБАЧНОГО СЫРЬЯ

© 2024 г. Е. М. Тютюнникова¹, Т. В. Плотникова^{1,*}¹Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий
ул. Московская, 42, Краснодар 350072, Россия

*E-mail: agrotobacco@mail.ru

В 2020–2021 гг. в центральной зоне Краснодарского края проведено исследование эффективности действия биостимулятора на основе тритерпеновых кислот Grow–В на табаке перспективного сорта Шептальский 63. По итогам применения ростстимулирующего средства с фунгицидным эффектом в лабораторных условиях установлено, что предпосевное замачивание семян табака в концентрации 0.05% в течение 6-ти ч повышало массу табачных проростков на 43%. Посев обработанных семян табака в парник совместно с дополнительной двукратной обработкой рассады в фазах развития “ушки” и “годная к высадке” раствором биостимулятора Grow–В в концентрации 0.05% увеличивали число листьев на растениях на 18, длину рассады от корневой шейки до точки роста – на 37, до конца вытянутых листьев – на 24, диаметр стебля – на 30, сырую массу надземной части и корневой системы – на 96 и 95% соответственно. Выход стандартной рассады с единицы парниковой площади повышался на 29%. Приживаемость растений в поле достигала 98, их высота к концу уборочного периода увеличивалась на 12, площадь листьев табака среднего яруса – на 28, урожайность – на 37% по сравнению с контролем. Предпосевное замачивание семян и обработка рассады биостимулятором Grow–В увеличивали количество никотина в табачном сырье на 34, углеводов – на 68, сокращали количество белков на 13%. Число Шмука (углеводно-белковое соотношение, характеризующее качество сырья) на фоне биостимулятора возрастало на 89%.

Ключевые слова: табак, семена, рассада, биостимулятор Grow–В, урожайность, качество табачного сырья.

DOI: 10.31857/S0002188124030047, **EDN:** DNVNDK

ВВЕДЕНИЕ

Выращивание качественной табачной рассады – это первостепенная и важная задача для получения хорошего урожая табака и табачного сырья высшего сорта. Основными препятствиями для роста выровненной и крепкой стандартной рассады являются весенние перепады температуры и возбудители стеблекорневых болезней парникового периода. В связи с тем, что табак является пищевкусовой культурой, и процесс его выращивания сопряжен с влиянием на него стрессовых факторов и значительными затратами ручного труда, целесообразно в парниковый период использовать современные регуляторы роста природоохранной направленности, которые способны стимулировать физиолого-биохимические процессы в растениях, активизировать их рост и развитие, одновременно повышая иммунный статус табачной рассады.

К препаратам вышеописанного действия можно отнести ростстимулирующее средство защиты растений с фунгицидным эффектом (биопрепарат) Grow–В, изготовленное из зеленой массы пихты сибирской, в состав которого входят – тритерпеновые кислоты (99.3%), витамин С, Е, каротин, флавоноиды, эфирные масла, фитонциды, микроэлементы. Тритерпеновые кислоты являются одной из самых больших групп физиологических веществ с широким спектром биологической активности в сочетании с низкой токсичностью и выраженными фунгицидными и иммунопротекторными свойствами. Эти вещества, воздействуя на клетки растений, активизируют гены стрессоустойчивости, особенно проявляемые в неблагоприятных почвенно-климатических условиях. Высокая рострегулирующая и защитная активность препарата Grow–В проявляется в низких концентрациях, что не оказывает негативного влияния на окружающую среду. Стимулятор используют

для обработки семян и растений, он ускоряет процесс прорастания и созревания сельскохозяйственных культур, а также эффективен для защиты растений от экстремальных условий роста (заморозки, засуха) и в качестве средства защиты растений от болезней [1].

Среди препаратов, изготовленных из древесной зелени пихты, широкое применение в сельском хозяйстве нашли регуляторы роста: Силк, Вэрва Эко-сил и др. Ранее регулятор роста Вэрва был испытан на табаке. Предпосевное замачивание семян совместно с обработкой рассады в концентрации препарата 0.01% увеличивал урожайность культуры на 3.5 ц/га (на 10%) и улучшал курительные достоинства табачного сырья [2]. При применении препарата Вэрва на озимой пшенице на фоне роста продуктивности растений отмечено снижение развития болезней – снежной плесени, обыкновенной корневой гнили, мучнистой росы и септориоза [3]. Обработка семян и вегетирующих растений регулятором роста Вэрва привела к увеличению биологической и хозяйственной продуктивности льна-долгунца. Положительное влияние проявилось в увеличении высоты и технической длины растений по сравнению с контролем, количества сформировавшихся коробочек и массы семян на одном растении [4]. Установлено, что применение биологических препаратов Силк и Эко-сил в качестве предпосевной обработки семян увеличивало содержание протеина в растениях злаково-гороховой смеси на 2.1, сахара – на 1.13%, каротина – на 5 мг/кг [5]. Поэтому цель работы – определение отзывчивости табака на применение биостимулятора Grow-B, а именно его влияния на массу проростков семян при предпосевной обработке, качество рассады, формирование продуктивности и химический состав табачного сырья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были перспективный сорт табака Шептальский 63, семена, табачные растения, биостимулятор Grow-B. Научно-исследовательскую работу проводили на базе ВНИИТТИ в 2020–2021 гг.

Лабораторный опыт с использованием биостимулятора Grow-B закладывали в широком диапазоне концентраций: 1.0, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.5, 0.05, 0.005, 0.0005%, с различным временем экспозиций семян (время нахождения семян в растворе) – 3, 6 и 12 ч, в соответствии с методическим руководством [6]. Отвешенные на порции семена (по 100 шт.) помещали в тканевые мешочки и погружали в водные растворы стимулятора роста Grow-B. Температура воздуха и воды – 20–22°C. После экспозиции семена извлекали из растворов, подсушивали

и размещали в чашках Петри для дальнейшего проращивания в светлом, хорошо проветриваемом помещении при температуре 27–29°C. При проращивании семян обеспечивали постоянную освещенность. Чашки Петри ежедневно приоткрывали для доступа воздуха. Эффективность предпосевного замачивания определяли через 12 сут методом взвешивания массы проростков табака.

Опыт заложен на парниковом субстрате с 50%-ным обеспечением от оптимального количества основных питательных элементов (N35P30K35), созданном за счет доведения однокомпонентных минеральных удобрений в несменяемый субстрат за 5–7 сут до посева семян табака на основе проведенных агрохимических анализов смеси. Перед высеваем семян в защищенный грунт их замачивали в растворах различных концентраций стимулятора Grow-B, показавших наиболее эффективные результаты при лабораторном испытании по массе проростков, и при лучшем времени экспозиции: 0.1% (12 ч), 0.05% (3 ч); 0.05% (6 ч). При появлении на семенах табака $\approx 60\%$ ростков в виде белых точек (через 3–4 сут), их высевали в парники. Норма высева семян табака – 0.3 г/м², площадь учетной делянки 1 м², повторность опыта четырехкратная.

В рассадный период проводили внекорневое опрыскивание стимулятором роста Grow-B в основных фазах развития растений “ушки” и “годная к высадке рассада” растворами, проявившими высокую эффективность в результате лабораторного испытания – 0.1 и 0.05%. Расход рабочего раствора – 1 л/м². На протяжении всего периода выращивания ухаживали за рассадой: поливали, проветривали, вручную пропалывали сорные растения. По окончании рассадного периода определяли биометрические показатели стандартной рассады табака (готовой к пересадке в полевые условия): количество листьев, длину рассады от корневой шейки до точки роста и до конца вытянутых листьев, толщину стебля у корневой зоны, сырую массу стеблей и корней 25-ти растений. Учитывали выход стандартной рассады с 1 м² парниковой площади [7].

Полевые опыты закладывали на опытно-селекционном участке института. Почва – западно-предкавказский чернозем выщелоченный. Повторность опыта – четырехкратная, густота стояния растений – 70 × 25 см. Растения табака высаживали точно в соответствии со схемой парникового опыта. Закладка полевого опыта, фенологические наблюдения, измерения, учеты проводили в соответствии с разработанной методикой [8].

Для установления пролонгированного эффекта качественной рассады, полученной при использовании стимулятора роста Grow-B, в полевой период определяли высоту растений через 30 сут

после посадки, в фазе интенсивного роста и в период цветения 75–80% растений, площадь листьев среднего яруса, урожайность. Высоту растений измеряли линейкой от уровня земли и до точки роста растений, в фазе цветения – до начала образования соцветий. Для определения площади листа на каждой делянке отбирали 50 типичных листьев в 3-ю – основную ломку (т.к. эти листья содержат больше сухого вещества, более материальны, чем листья нижних и верхних ярусов), каждый лист измеряли по длине от стебля до верхушки пластинки и по ширине – в наиболее широком месте [9]. Затем их взвешивали, закрепляли на шнуры и высушивали до воздушно-сухого состояния, определяли массу сухих листьев. Далее коэффициент усушки сырья применяли для расчета урожайности табака с учетной делянки полевого опыта площадью 14 м² в сухом весе. Пересчет урожайности проводили, исходя из рекомендуемого для посадки количества табачных растений – 55 тыс./га.

В полученном табачном сырье в лаборатории химии и контроля качества определяли химический состав сырья: содержание никотина, белков и углеводов. Водорастворимые углеводы устанавливали по Бертрану (модификация лаборатории химии и контроля качества ВНИИТТИ), белковый азот – по Мору, общий азот – по Кьельдалю, никотин – спектрометрическим методом [10, 11]. Для оценки достоверности полученных данных использовали методы статистической обработки результатов с применением компьютерной программы однофакторного дисперсионного анализа Microsoft Excel [12].

Погодные условия в годы проведения исследования в течение парникового и полевого периодов в целом были благоприятными для роста и развития растений табака. Посев табака осуществляли в 3-й декаде марта. По температурному режиму этот месяц был теплее средней многолетней нормы на 1.9°C (2020 г.) и 6.8°C (2021 г.), по количеству

осадков – оптимальным, что способствовало дружному появлению всходов табака. В апреле стояла теплая погода, в 2020 г. дефицит влаги составил 24.5 мм (необходим был более тщательный полив рассады). В мае количество выпавших осадков в 2020 г. было выше среднемноголетней нормы на +56.2 мм, в 2021 г. – на уровне среднемноголетней нормы с небольшим недобором +2.8 мм и температурой, превышающей норму на 1.9–2.6°C соответственно. В июне теплая и влажная погода способствовала активному росту табака в поле, среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетние данные на 2.5–3.9°C, осадков за месяц (2021 г.) выпало 115 мм, что выше месячной нормы на 44.4 мм, дефицит почвенной влаги в 2020 г. составил 44.1 мм, что ниже среднемноголетних показателей почти в 2 раза (проводили дополнительный полив растений). Август был засушливым и жарким, это ускорило созревание табачных листьев. Несмотря на значительные изменения погодных условий, был получен высокий и качественный урожай табачного сырья.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лабораторном опыте оценили массу проростков семян табака, обработанных биостимулятором Grow–В. Лучшие результаты получены при использовании концентрации 0.05% и времени замачивания семян в течение 6 ч, в этом случае масса проростков была наибольшей – 0.201 г. ($HCP_{05} = 0.0105$), т.е. по сравнению с контрольным вариантом увеличилась на 43% (рис. 1).

При экспозиции 3 ч биопрепарат в вышеуказанной концентрации способствовал увеличению массы проростков на 32% ($HCP_{05} = 0.0098$). Существенное отличие массы проростков ($HCP_{05} = 0.012$) прослежено и при обработке семян раствором биопрепарата концентрации 0.1% при экспозиции 12 ч, в этом случае отмечено

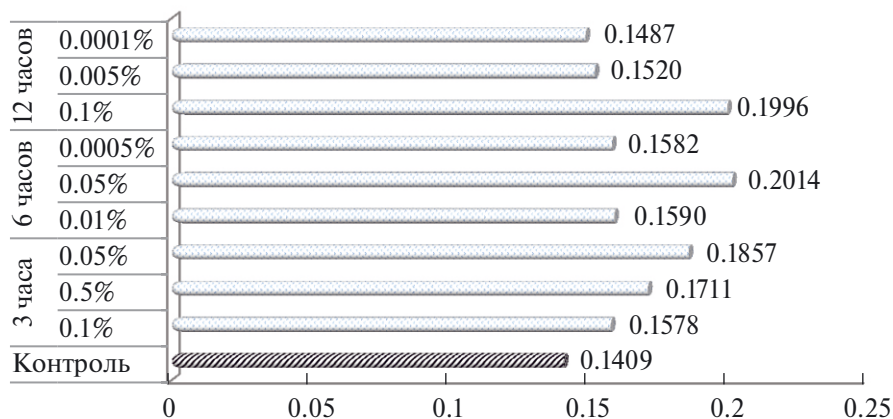


Рис. 1. Влияние биостимулятора Grow–В на массу проростков семян табака (2020 г., лабораторный опыт), г.

Таблица 1. Влияние биостимулятора Grow–В на качество стандартной рассады табака сорта Шептальский 63 (среднее 2020–2021 гг.)

Вариант (концентрация препарата, экспозиция, фаза обработки)	Число листьев, шт.	Высота растений, см		Диаметр стебля у корневой шейки, см	Сырая масса 25-ти растений, г	
		до точки роста	до конца вытянутых листьев		стеблей	корней
Контроль без обработки	3.9	11.0	20.6	0.41	120	4.0
Обработка Grow–В						
Семена 0.1% (12 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.1%	4.4	13.6	24.5	0.51	207	6.3
Семена 0.05% (3 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.05%	4.3	12.6	24.1	0.49	187	6.1
Семена 0.05% (6 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.05%	4.6	15.0	25.5	0.53	234	7.8
<i>HCP</i> ₀₅	0.2	0.8	2.1	0.04	32	0.5

увеличение массы на 42%. После посева в парник предварительно обработанные семена табака дружно и равномерно всходили.

Своевременно выращенная, здоровая и крепкая табачная рассада является залогом высокого и качественного урожая культуры. Препарат Grow–В повлиял на выравненность табачной рассады, растения не подвергались болезням парникового периода (стеблекорневым гнилям). Биометрическое исследование годных к высадке в полевые условия растений показало, что использование биостимулятора по отмеченным схемам способствовало увеличению числа листьев рассады в сравнении с вариантом без обработки на 10–18, увеличению длины от корневой шейки до точки роста – на 15–37 и от корневой шейки до конца вытянутых листьев – на 17–24, диаметр стебля у корневой шейки вырос на 20–30%, сырая масса

стеблей 25 растений и корневой системы повысились в сравнении с контролем на 57–96 и 53–95% соответственно (табл. 1).

Наилучшие показатели отмечены при предпосевной обработке семян табака раствором биопрепарата Grow–В в концентрации 0.05% при экспозиции 6 ч и с двукратной обработкой рассады раствором в концентрации 0.05%.

Обработки биостимулятором Grow–В при использовании выбранных схем применения значительно в сравнении с контролем на 18–29% увеличивали выход стандартной рассады – основного экономического показателя парникового опыта (*HCP*₀₅ = 54) (рис. 2).

Вариант опыта с замачиванием семян в течение 6 ч и двукратной обработкой рассады

**Рис. 2.** Влияние биостимулятора Grow–В на выход стандартной рассады табака сорта Шептальский 63 (среднее 2020–2021 гг.), шт./м².

Таблица 2. Влияние биостимулятора Grow–В на продуктивность табака (среднее 2020–2021 гг., сорт Шептальский 63)

Вариант (концентрация препарата, экспозиция, фаза обработки)	Количество листьев на 1-м растении, шт.	Высота растений, см			Площадь листовой поверхности, см ²
		30-е сут после посадки	фаза интенсивного роста	фаза цветения	
Контроль без обработки	32	12.5	96.1	129	778
Grow–В					
Семена 0.1% (12 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.1%	38	15.8	104	137	955
Семена 0.05% (3 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.05%	36	14.0	101	132	911
Семена 0.05% (6 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.05%	41	16.9	110	144	992
<i>HCP</i> ₀₅	2.1	1.5	5.2	6.7	38.1

0.05%-ным раствором биостимулятора роста Grow–В показал наилучшие результаты.

После пересадки табачной рассады с хорошо развитой корневой системой в полевые условия, опытные растения табака сорта Шептальский 63 имели лучшую приживаемость (98%), чем растения без использования этого препарата (89%), а дальнейшие наблюдения за ростом и развитием растений показали, что они были более высокорослыми, выровненными и крепкими.

Количество листьев при использовании препарата Grow–В в лучшем варианте увеличилось на 9 шт., высота опытных растений уже на 30-е сут после посадки превышала контроль в среднем на 4.4 см или 36%, в период интенсивного роста, усиленного накопления вегетативной массы растениями – на 14, в фазе цветения – на 12%. Наибольшая площадь листьев табака среднего яруса составило 992 см², что превысило площадь листьев в контрольном варианте на 28% (табл. 2).

Сформировавшиеся табачные листья убирали с наступлением фазы “технической зрелости”, когда происходило высокое накопление сухого вещества (клетчатки, белков, азотистых веществ, никотина, углеводов, полифенолов, пектиновых и зольных веществ, органических кислот и др.), листья становились толще в результате увеличения клеток и межклетников, в этот период урожайность табака была максимальной. Например, урожайность табачных растений под действием стимулятора роста Grow–В выросла в варианте замачивания семян в растворе с концентрацией 0.05% в течение 6 ч и последующим двукратным опрыскиванием рассады в основных фазах развития до 43.7 ц/га, что превысило этот показатель в контроле на 37% (*HCP*₀₅ = 2.4) (рис. 3).

Химический состав табачного сырья показал, что испытанный биостимулятор значительно повышал его качество. Например, при замачивании семян в 0.05%-ном растворе (6 ч) с дополнительным

**Рис. 3.** Влияние биостимулятора Grow–В на урожайность табака сорта Шептальский 63 (среднее 2020–2021 гг), ц/га.

Таблица 3. Влияние биостимулятора Grow–В на химический состав табачного сырья (2021 г., сорт табака Шептальский 63)

Вариант (концентрация препарата, экспозиция, фаза обработки)	Содержание, %			Число Шмука
	никотина	углеводов	белков	
Контроль без обработки	1.8	4.6	6.1	0.76
Обработка Grow–В				
Семена 0.1% (12 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.1%	2.1	7.2	5.2	1.39
Семена 0.05% (3 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.05%	2.2	7.2	5.4	1.34
Семена 0.05% (6 ч), фазы “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.05%	2.4	7.7	5.4	1.43
HCP ₀₅	0.2	0.8	0.5	0.23

опрыскиванием в основных фазах развития таким же раствором увеличивалось количество углеводов в табачном сырье по сравнению с контролем на 68%, что повлекло за собой повышение углеводно-белкового соотношения (основной показатель качества табачного сырья) или числа Шмука до 1.43 (от 1 до 3 сырье является высококачественным), что на 89% превышало вариант без обработки. Количество никотина по сравнению с контролем выросло на 34%, число белков в данном варианте снизилось на 13%, что при анализе качества табачного сырья считается положительным явлением, т.к. при большом количестве белка в табачном сырье появляется характерный запах “жженого пера” (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, биостимулятор Grow–В в лабораторных условиях положительно влиял на показатели роста и развития табачных растений при замачивании семенного материала в 0.05%-ном растворе препарата в течение 6-ти ч. При этом увеличивалась масса проростков семян табака на 43%. Предпосевная обработка семян, а затем дополнительная двукратная обработка рассады в основных фазах развития “ушки” и “годная к высадке” 0.05%-ным раствором препарата повышали показатели качества стандартной рассады: число листьев на растениях увеличивалось на 18, длина рассады от корневой шейки до точки роста – на 37, до конца вытянутых листьев – на 24, диаметр стебля – на 30, сырая масса стеблей 25-ти растений и корневой системы возросли на 96 и 95% соответственно. Количество годной к высадке рассады повышалось на 29%. Растения табака в поле показали приживаемость 98%, к концу уборочного периода темпы роста увеличились на 12, увеличение площади листьев среднего яруса выросло на 28, урожайность повысилась на 37%.

Замачивание семян и обработка рассады биостимулятором Grow–В повышали качество табачного сырья, увеличивая количество никотина на 34, углеводов – на 68, число Шмука – на 89, а количество белка сократилось на 13%. По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что включение препарата Grow–В на основе тритерпеновых кислот в технологию выращивания табака является целесообразным и высокоэффективным приемом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ростстимулирующее средство защиты растений с фунгицидным эффектом «Grow–В». URL: https://spetshimagro.ru/our-products/prod_fungicid/grow-b/ (дата обращения 23.05.2023).
2. Плотникова Т.В., Саломатин В.А., Хуришайнен Т.В., Кучин А.В. Эффективность применения стимулятора Вэрва в биологизированной низкзатратной технологии выращивания табака // *Международ. сел.-хоз. журн.* 2016. № 3. С. 46–48.
3. Хуришайнен Т.В., Трепашко Л.И., Сорока С.В., Лаввич Ф.А., Кучин А.В. Исследование эффективности регулятора роста растений Вэрва на посевах озимой пшеницы в Республике Беларусь // *Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты: мат-лы XIV Международ. научн.-практ. конф., Минск, 3–8 июля 2018 г. / Под ред. Д.В. Маслак. Минск: БГУ, 2018. С. 215–217.*
4. Бахтенко Е.Ю., Суслов Ю.А., Курапов П.Б., Хуришайнен Т.В. Сравнительное исследование эффективности регуляторов роста растений при выращивании льна-долгунца // *Агрохимия.* 2011. № 8. С. 37–43.
5. Джемалединова И.М., Бегенова Б.Е. Изменение химического состава растений злаково-

- бобовых смесей под действием биологических препаратов // Хим. журн. Казахстана. 2020. № 1. С. 92–101.
6. Плотникова Т.В., Алехин С.Н., Саломатин В.А. Методическое руководство по изучению эффективности применения регуляторов роста растений при проращивании семян табака. Краснодар, 2013. 29 с.
 7. Алехин С.Н., Плотникова Т.В., Саломатин В.А. Методическое руководство по проведению полевых агротехнических опытов с табаком в рассадниках Краснодар, 2013. 27 с.
 8. Алехин С.Н., Саломатин В.А., Исаев А.П. Методическое руководство по проведению полевых агротехнических опытов с табаком (*Nicotiana tabacum* L.). Краснодар, 2011. 42 с.
 9. Рекомендации по возделыванию табака на Северном Кавказе. Краснодар, 1985. 64 с.
 10. Мохначев И.Г., Писклов В.П., Шерстяных Н.А. Методы анализа табака и табачного дыма. Краснодар, 1976. 83 с.
 11. Табак и табачные изделия. Определение алкалоидов в табаке. Спектрофотометрический метод: ГОСТ 30038-93. Введ. 1995-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с.
 12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Utilizing Biostimulator Grow–B for Increasing Tobacco Seeds Germination, Biometric Indicators of Seedling and Quality of Cured Tobacco

E. M. Tutunnikova^a, T. V. Plotnikova^{a, #}

^aAll-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products,
ul. Moskovskaya 42, Krasnodar 350072, Russia

[#]E-mail: agrotobacco@mail.ru

In 2020–2021, in the central zone of the Krasnodar Territory, a study was conducted on the effectiveness of a biostimulator based on triterpene acids Grow–B on tobacco of the promising variety Sheptalsky 63. According to the results of the use of a growth-stimulating agent with a fungicidal effect in laboratory conditions, it was found that pre-sowing soaking of tobacco seeds at a concentration of 0.05% for 6 hours increased the weight of tobacco seedlings by 43%. Sowing of treated tobacco seeds in a greenhouse together with additional double treatment of seedlings in the development phases “ears” and “fit for planting” with a solution of the biostimulator Grow–B in a concentration of 0.05% increased the number of leaves on plants by 18, the length of seedlings from the root neck to the point of growth – by 37, to the end of the elongated leaves – by 24, the diameter of the stem is by 30, the crude mass of the aboveground part and the root system is by 96 and 95%, respectively. The yield of standard seedlings per unit of greenhouse area increased by 29%. The survival rate of plants in the field reached 98, their height increased by 12 by the end of the harvesting period, the area of tobacco leaves of the middle tier – by 28, yield – by 37% compared with the control. Pre-sowing soaking of seeds and seedling treatment with the Grow–B biostimulator increased the amount of nicotine in tobacco raw materials by 34, carbohydrates by 68, and reduced the amount of proteins by 13%. The number of Schmuck (carbohydrate-protein ratio characterizing the quality of raw materials) increased by 89% against the background of a biostimulator.

Keywords: tobacco, seeds, seedlings, biostimulator Grow–B, yield, quality of tobacco raw materials.

УДК 632.952:632.4:633.491

ДЕЙСТВИЕ ФУНГИЦИДОВ НА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ФУЗАРИОЗНОЙ СУХОЙ ГНИЛИ КАРТОФЕЛЯ[§]

© 2024 г. А. С. Орина^{1,*}, О. П. Гаврилова¹, И. И. Трубин¹, Т. Ю. Гагкаева¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, шоссе Подбельского, 3, Россия

*E-mail: orina-alex@yandex.ru

Проведена лабораторная оценка действия 4-х фунгицидов, содержащих д.в. разных химических классов, на рост штаммов 2-х доминирующих видов грибов *Fusarium* – возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Препарат, содержащий беномил, наиболее эффективно подавлял рост штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* – в среднем на $76 \pm 4\%$ по сравнению с контролем. Препарат, содержащий азоксистробин, оказался самым неэффективным из изученных – ингибирование роста штаммов составило в среднем $35 \pm 5\%$. Показано достоверное влияние факторов “видовая принадлежность” и “регион происхождения” штамма и их взаимодействия на чувствительность штаммов обоих видов *Fusarium* к каждому из 4-х фунгицидов. Отмечен риск развития резистентности у *F. sambucinum* к д.в. разных классов.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, клубни, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium solani*, фунгициды.

DOI: 10.31857/S0002188124030057, **EDN:** DNVNDK

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время серьезной проблемой для картофелеводства являются потери урожая, обусловленные грибными заболеваниями. Широкое распространение имеет фузариозная сухая гниль картофеля (ФСГК), вызываемая грибами рода *Fusarium*, которая снижает качество урожая в период хранения, в также ухудшает продовольственное и семенное качество клубней [1–5]. Клубни семенного картофеля, пораженные сухой гнилью в небольшой степени, становятся причиной подавления всходов картофеля и, в итоге, потерь урожая до 7–25% [1, 6]. Кроме того, при длительном хранении до 60% качественных клубней могут поражаться фузариозной сухой гнилью [6].

Показано, что с сухой гнилью клубней ассоциированы ≈ 11 –13 видов *Fusarium*, причем видовой состав грибов существенно варьирует в зависимости от условий выращивания картофеля [5, 7, 8]. Среди них, как правило, преобладают виды *F. sambucinum* и *F. solani* [3, 4, 7, 9, 10], также с высокой частотой встречается *F. oxysporum* [8, 11, 12]. Согласно мониторингу распространения грибов рода *Fusarium*, вызывающих ФСГК, проведенному в 2021–2022 гг., в России доминировали виды *F. sambucinum* и *F. solani* – их доли от всех изолятов

Fusarium, выделенных в результате микологического анализа, составили 36 и 14% соответственно.

Патогенность разных видов *Fusarium* по отношению к картофелю значительно различается, однако вид *F. sambucinum* является наиболее патогенным для клубней культуры [10, 12].

Применение фунгицидов является одним из обязательных технологических приемов возделывания картофеля [13]. Биологические и агротехнические факторы, такие как высокое генетическое и метаболическое разнообразие возбудителей *Fusarium* и растущее использование химических препаратов, могут создавать риск отбора изолятов, устойчивых к массово используемым фунгицидам [14]. В “Справочнике пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации в 2021/2022” приведено 33 фунгицидных препарата для обработки клубней картофеля на основе 19-ти действующих веществ (д.в.) из разных классов.

Чувствительность к фунгицидам значительно варьирует как у разных видов *Fusarium*, так и у штаммов одного вида [15–17]. По этой причине представляется ценным детальное изучение чувствительности возбудителей ФСГК к фунгицидам с учетом их видовой принадлежности.

Цель работы – оценка чувствительности к фунгицидам штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* различного происхождения.

[§]Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 23-26-00105).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Из коллекции чистых культур микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии ВИЗР в качестве объектов исследования были выбраны 23 штамма *Fusarium* spp., выделенные из клубней картофеля различного географического происхождения: Московская обл. (4 шт.), Омская обл. (3 шт.), Вологодская, Самарская обл., Чувашия (по 2 шт.), Калужская, Ленинградская, Новгородская, Рязанская, Тульская, Ярославская обл., Ставропольский край, Удмуртия (по 1 шт.). Предварительно, среди них 17 штаммов были идентифицированы как *F. sambucinum*, 6 штаммов – как *F. solani*.

Скрининг чувствительности штаммов *Fusarium* проводили методом диффузии фунгицидов в агаризованной среде [18]. Определяли влияние на рост штаммов грибов 4-х фунгицидов, содержащих д.в. из классов амиды, бензимидазолы, стробилурины, триазолы и фенилпирролы (табл. 1).

Химические препараты разводили в стерильной воде таким образом, чтобы получить концентрацию рабочего раствора для обработки клубней или почвы, содержащего максимальную норму расхода, рекомендованную для использования производителем.

В чашках Петри 90 мм с КСА объемом 20 мл стерильным пробочным сверлом диаметром 4 мм делали две лунки на расстоянии 1 см от края чашки. В каждую лунку вносили по 20 мкл раствора препарата. В контрольном варианте в лунки вносили по 20 мкл стерильной воды. Из предварительно выращенных на КСА в темноте при 25°C колоний исследованных штаммов вырезали диски диаметром 4 мм, которые мицелием вниз помещали на среду в центр каждой чашки. Эксперимент выполняли в двукратной повторности.

Через 7 сут инкубации (25°C, темнота) измеряли диаметры выросшей колонии гриба в 2-х взаимно

перпендикулярных направлениях и рассчитывали ее площадь (мм²). Ингибирующее действие препарата на рост гриба определяли как отношение разницы величин площади колонии в контроле и в варианте к площади колонии в контроле, выраженное в %.

Для статистического анализа полученных данных использовали программы Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В контрольных вариантах площадь колоний штаммов *F. sambucinum* достигала в среднем 83.1 ± 0.6 мм² (диапазон составил 73.5–85.0 мм²), штаммов *F. solani* – в среднем 65.3 ± 1.5 мм² (60.0–72.5 мм²) соответственно.

Все фунгициды, включенные в исследование, подавляли рост штаммов двух видов *Fusarium* (табл. 2, рис. 1).

В среднем для всех препаратов влияние фунгицидов на рост штаммов видов *Fusarium* не имело достоверных различий. Ингибирующее действие на *F. sambucinum* варьировало в диапазоне 1–95% и в среднем составило 53 ± 3%. Ингибирующее действие препаратов на рост штаммов *F. solani* варьировало от 9 до 95% и в среднем составило 53 ± 7%.

В отношении штаммов двух видов *Fusarium* наибольший ингибирующий эффект проявил препарат, содержащий беномил 500 г/кг – при его добавлении в питательную среду рост колоний в среднем снижался на 76 ± 4% по сравнению с контролем.

Ранее беномил и тиабендазол, которые относятся к классу бензимидазолов, продемонстрировали высокую эффективность против большинства видов грибов *Fusarium*, вызывающих сухую гниль [11, 12, 19, 20], причем в отдельных исследованиях подавление роста грибов *Fusarium* при добавлении беномила

Таблица 1. Фунгицидные препараты, включенные в исследование

Препарат	Действующее вещество (д.в.)	Норма расхода кг, л*	Применение	Концентрация д.в. (г/л) в рабочем растворе
Бенорад, СП	Беномил 500 г/кг	0.5–1.0	Предпосадочная обработка клубней. Расход рабочей жидкости – 2 л/т	250
Максим, КС	Флудиоксонил 25 г/л	0.4	Опрыскивание клубней перед закладкой на хранение. Расход рабочей жидкости – до 10 л/т	1
Квадрис, СК	Азоксистробин 250 г/л	3	Опрыскивание почвы во время посадки клубней. Расход рабочей жидкости – 80–200 л/га.	9
Эместо Сильвер, КС	Пенфлуфен 100 г/л + протиоконазол 18 г/л	0.4	Обработка клубней до или во время посадки. Расход рабочей жидкости – 10–20 л/т	4 + 0.7

* Норма расхода отпределена с использованием инструкции производителя.

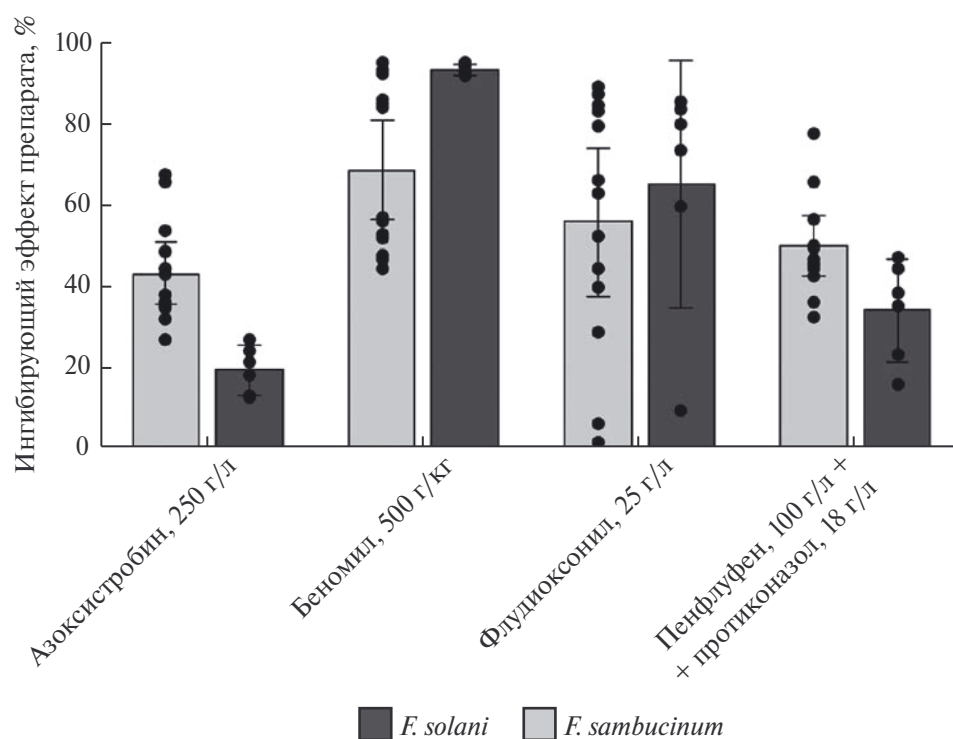
Таблица 2. Чувствительность штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* разного происхождения к фунгицидам

Вид <i>Fusarium</i>	Происхождение штаммов (число)	Ингибирующее действие препарата на рост штаммов, %			
		азоксистробин 250 г/л	беномил 500 г/кг	флудиоксонил 25 г/л	пенфлуфен 100 г/л + протиконазол 18 г/л
<i>F. sambucinum</i>	Приволжский (3)	55 ± 7	55 ± 2	84 ± 2	66 ± 6
	Северо-Западный (4)	28 ± 4	72 ± 9	55 ± 7	30 ± 6
	Северо-Кавказский (1)	48.6 ± 0.8	93 ± 2	83.1 ± 0.5	45.8 ± 0.7
	Сибирский (3)	32 ± 3	71 ± 13	42 ± 7	48 ± 6
	Центральный (6)	73 ± 5	71 ± 10	44 ± 14	48 ± 3
<i>F. solani</i>	Центральный (2)	20 ± 2	94 ± 1	72 ± 13	20 ± 4
	Приволжский (4)	19 ± 4	93 ± 0.7	61 ± 17	41 ± 3

(концентрация 100 мг/л) в питательную среду составляло >99% [20]. Беномил является системным фунгицидом, применяемым для борьбы с широким спектром заболеваний сельскохозяйственных культур [21]. Фунгицидные свойства беномила основаны на его способности нарушать деление ядра грибной клетки. Между тем, беномил обладает гепа- и нейротоксичностью, оказывает негативное воздействие на репродуктивную систему человека и животных, а также может

вызывать хромосомные аномалии [21]. В связи с этим беномил запрещен к применению в ЕС и США [21], однако из-за своей высокой эффективности по-прежнему используется во многих странах мира [22].

В нашем исследовании ингибирующее действие беномила в отношении штаммов *F. sambucinum* составило $70 \pm 5\%$, тогда как штаммы *F. solani* в среднем были достоверно более чувствительными к этому

**Рис. 1.** Ингибирующее действие фунгицидов на рост штаммов *F. sambucinum* и *F. solani*. Точки — показатели индивидуальных штаммов, столбик — среднее для выборки штаммов, отрезки — ДИ при уровне значимости $p < 0.05$.

д.в. ($p = 0.009$): его ингибирующее действие оказалось равным $93 \pm 1\%$. Сходные различия в чувствительности разных видов *Fusarium* к беномилу были выявлены ранее: ограничение роста штаммов *F. solani* под действием данного д.в. составляло $>90\%$, тогда как штаммы *F. sambucinum* оказались менее чувствительными — снижение размера колоний составляло $26\text{--}46\%$ [23].

Наименее эффективным оказался препарат, содержащий азоксистробин 250 г/л , который ограничивал рост всех анализируемых штаммов *Fusarium* в среднем на $35 \pm 5\%$. Ингибирующее действие данного препарата в отношении штаммов *F. sambucinum* составило $40 \pm 3\%$, тогда как штаммы *F. solani* в среднем оказались в 2 раза менее чувствительными к азоксистробину ($p = 0.001$): ингибирующее действие этого д.в. составило $19 \pm 2\%$.

Ранее показано, что азоксистробин демонстрировал меньшую эффективность в ограничении роста возбудителей сухой гнили картофеля в сравнении с имазалилом, тиabendазолом, флудиоксонилем и дифеноканозолом: рост штаммов *F. solani* снижался на $45\text{--}72\%$ [24]. В другом исследовании азоксистробин также оказался менее эффективным в ограничении роста штаммов *F. solani* в сравнении с карбендазимом, триазолами и манкоцебом [25].

В нашем исследовании препарат, содержащий флудиоксонил, также продемонстрировал эффективность в ограничении роста колоний *Fusarium*: уменьшение площади колоний исследованных штаммов грибов в среднем составило $58 \pm 6\%$ по сравнению с контролем. Достоверных различий влияния данного д.в. на рост штаммов 2-х видов *F. sambucinum* и *F. solani* не выявлено — ингибирующее действие в среднем составило 55 ± 6 и $65 \pm 11\%$ соответственно. Однако у разных штаммов 2-х видов *Fusarium* выявлена высокая вариабельность чувствительности к этому д.в. Например, у 2-х штаммов *F. sambucinum* MFG 70208 и MFG 70160 из Центрального региона России отмечена резистентность к флудиоксонилу — площадь их колоний под действием данного д.в. уменьшалась всего на 1 и 6% соответственно. В то же время 53% штаммов *F. sambucinum* оказались высокочувствительными к этому д.в. — ингибирующее действие препарата на их рост варьировало в диапазоне $63\text{--}89\%$. Действие флудиоксонила на рост штаммов *F. solani* также оказалось неоднородным — штамм MFG 70147 из Самарской обл. оказался наименее чувствительным — площадь его колонии снижалась всего на 9%. В то же время рост штаммов *F. solani* MFG 70155 из Башкирии и MFG 70176 из Московской обл. уменьшался значительно на 83 и 85% на среде под действием данного д.в.

Добавление в среду двухкомпонентного препарата (пенфлуфен 100 г/л + протиокназол 18 г/л) приводило к ингибированию роста штаммов *Fusarium* в среднем на $43 \pm 3\%$ по сравнению с контролем. Не выявлены достоверные различия в ингибирующем действии

препарата в отношении штаммов *F. sambucinum* и *F. solani*, — площади колоний этих видов уменьшались по сравнению с контролем на 47 ± 4 и $34 \pm 5\%$ соответственно.

Выявлено достоверное влияние ($p < 0.000$) факторов “видовая принадлежность” и “регион происхождения” штамма и их воздействия на чувствительность исследованных штаммов *Fusarium* к каждому из 4-х фунгицидов. Препарат, содержащий флудиоксонил, эффективнее ингибировал рост штаммов *F. sambucinum* из Приволжского региона в отличие от штаммов этого вида из других регионов, рост которых эффективнее всего подавлял препарат, содержащий беномил (табл. 2). Сравнение штаммов *F. solani* разного происхождения выявило различия их чувствительности только в отношении двухкомпонентного препарата — штаммы из Центрального региона оказались в среднем менее чувствительными (площадь их колоний уменьшилась на $20 \pm 4\%$ по сравнению с контролем), чем штаммы из Приволжского региона (отмечено снижение площади их колоний на $41 \pm 3\%$).

Среди всех анализируемых штаммов *F. sambucinum* четыре оказались менее чувствительными к флудиоксонилу, два — к беномилу и по одному — к азоксистробину и двухкомпонентному препарату. Ингибирующее действие фунгицидов в отношении роста этих штаммов было меньше в 1.5 и более раз, чем средний показатель для всей выборки. Штамм *F. sambucinum* MFG 70118 (Ленинградская обл.) может быть охарактеризован как резистентный к 3-м фунгицидам, ингибирующее действие которых было в 2–4 раза меньше средних показателей для вида. Исключение составил препарат, содержащий беномил, который эффективно подавлял рост этого штамма.

Снижение чувствительности штаммов *Fusarium* к различным д.в. отмечали ранее. В 2008 г. впервые была выявлена устойчивость к флудиоксонилу штаммов *Fusarium* spp., вызывающих гниль клубней картофеля в Канаде [26]: ингибирование роста всех исследованных штаммов *F. sambucinum* не проявлялось даже при концентрации 100 мг д.в./л в питательной среде [26]. Среди 23-х штаммов *F. sambucinum*, выделенных из картофеля в США, 15 штаммов оказались резистентными к флудиоксонилу: концентрация полумаксимального ингибирования роста данных штаммов в питательной среде была $>130\text{ мг д.в./л}$ [27].

Показано, что присутствие низких концентраций флудиоксонила в питательной среде стимулировало рост резистентных к этому д.в. штаммов *F. oxysporum*, выделенных из картофеля [28]. Взаимодействие штаммов *F. oxysporum* с флудиоксонилем приводило к повышенной экспрессии нескольких ключевых для метаболизма генов. Авторы предполагали, что постоянное применение флудиоксонила может со временем привести к распространению резистентности в популяции патогена к данному д.в. [28]. Высокий риск

развития резистентности у грибов *Fusarium* к флудиоксонилю также отмечали другие исследователи [29].

Устойчивость к тиабендазолу, д.в. из класса бензимидазолов, была обнаружена у 18% исследованных штаммов *F. sambucinum*, выделенных из клубней картофеля в Канаде [30]. Также, в США среди 228 изолятов *Fusarium* spp., выделенных из клубней картофеля, все исследованные штаммы *F. sambucinum* обладали низкой чувствительностью к тиабендазолу, и в то же время все штаммы оказались чувствительными к дифеноконазолу [12]. Между тем было показано, что механизм, ответственный за низкую чувствительность штаммов *F. culmorum* к тебуконазолу, обеспечивает их низкую чувствительность ко всем триазолам, а также д.в. других классов — имидазолам и бензимидазолам и, по всей видимости, является универсальным для многих видов грибов *Fusarium* [15].

Резистентность штаммов грибов *Fusarium* к д.в. различных классов может развиваться с разной скоростью. Поэтому научно обоснованный выбор препаратов для защиты картофеля от ФСГК в конкретном регионе зависит от видового состава патогенов и их чувствительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка чувствительности к фунгицидам 17-ти штаммов *F. sambucinum* и 6-ти штаммов *F. solani*, выделенных из клубней картофеля различного происхождения с симптомами сухой гнили, показала, что все проанализированные препараты подавляли рост грибов *Fusarium*: ингибирующее действие составило 53 ± 3 и $53 \pm 7\%$ соответственно.

Среди 4-х фунгицидов препарат, содержащий беномил, наиболее эффективно подавлял рост грибов *Fusarium* spp.: его ингибирующее действие в среднем составляло $76 \pm 4\%$. Препарат, содержащий флудиоксонил, а также двухкомпонентный препарат, содержащий комбинацию пенфлуфена и протиоконазола, также продемонстрировали ингибирующее действие, а именно ограничение роста штаммов *Fusarium* spp. в среднем составляло по сравнению с контролем соответственно 58 ± 6 и $43 \pm 3\%$. Наименее эффективным оказался препарат, содержащий азоксистробин, который ограничивал рост штаммов в среднем на $35 \pm 5\%$.

Среди всех анализированных штаммов *Fusarium* 4 штамма *F. sambucinum* характеризовались низкой чувствительностью к флудиоксонилю, 2 — к беномилу и по одному — к азоксистробину и двухкомпонентному препарату. Отмечен риск развития резистентности у грибов *Fusarium* к д.в. разных классов. Поэтому научно обоснованный выбор фунгицидов для защиты картофеля от фузариозной сухой гнили картофеля зависит от видового состава патогенов в конкретном регионе и их чувствительности к используемым препаратам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Б.В., Белов Г.Л., Варицев Ю.А., Еланский С.Н., Журомский Г.К., Завриев С.К., Зейрук В.Н., Иванюк В.Г., Кузнецова М.А., Пляхневич М.П., Пшеченков К.А., Симаков Е.А., Склярова Н.П., Сташевски З., Усков А.И., Яшина И.М. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. М.: Картофелевод, 2009. 272 с.
2. Хадиева Г.Ф., Лутфуллин М.Т., Акосах Й.А., Малова А.В., Мочалова Н.К., Вологин С.Г., Сташевски З., Марданова А.М. Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан // Докл. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 34–39.
3. Du M., Ren X., Sun Q., Wang Y., Zhang R. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of chinese potato germplasm to the pathogen // Potato Res. 2012. V. 55. P. 175–184.
4. Stefańczyk E., Sobkowiak S., Brylińska M., Śliwka J. Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato tubers in Poland // Europ. J. Plant Pathol. 2016. V. 145. P. 871–884.
5. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S., Chihat S., Boureghda H., Śliwka J. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria // Europ. J. Plant Pathol. 2021. V. 159. P. 495–509.
6. Wharton P., Hammerschmidt R., Kirk W. *Fusarium* dry rot // Michigan potato diseases series. Michigan: Michigan State University, 2007. P. 531–532.
7. Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S., Sagar V., Aggarwal R., Naga K.C., Lal M.K., Chourasia K.N., Kumar D., Kumar M. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management // Biotech. 2020. V. 10(11). Art. 503.
8. Белосохов А.Ф., Ярмеева М.М., Долгов А.М., Миславский С.М., Албантов Г.П., Курчаев М.Л., Кокаева Л.Ю., Чудинова Е.М., Еланский С.Н. Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля // Совр. Микол. в России. 2022. Т. 9. С. 250–252.
9. Esfahani M.N. Susceptibility assessment of potato cultivars to *Fusarium* dry rot species // Potato Res. 2005. V. 48(3–4). P. 215–226.
10. Peters J.C., Lees A.K., Cullen D.W., Sullivan L., Stroud G.P., Cunnington A.C. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain // Plant Pathol. 2008. V. 57. P. 262–271.
11. Daami-Remadi M. Potato *Fusarium* dry rot in Tunisia: current status and future prospects // Pest Technol. 2012. V. 6. P. 15–22.
12. Gachango E., Hanson L.E., Rojas A., Hao J.J., Kirk W.W. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides // Plant Disease. 2012. V. 96. P. 1767–1774.
13. Baturo-Ciesniewska A., Lenc L., Grabowski A., Lukanowski A. Characteristics of polish isolates of *Fusarium sambucinum*: molecular identification, pathogenicity, diversity and

- reaction to control agents // Amer. J. Potato Res. 2015. V. 92. P. 49–61.
14. Spolti P., Del Ponte E.M., Cummings J.A., Dong Y., Bergstrom G.C. Fitness attributes of *Fusarium graminearum* isolates from wheat in New York possessing a 3-ADON or 15-ADON trichothecene genotype // Phytopathology. 2014. V. 104(5). P. 513–519.
 15. Hellin P., King R., Urban M., Hammond-Kosack K.E., Legrève A. The adaptation of *Fusarium culmorum* to DMI fungicides is mediated by major transcriptome modifications in response to azole fungicide, including the overexpression of a PDR transporter (*FcABC1*) // Front. Microbiol. 2018. V. 9. Art. 1385.
 16. Xu S., Wang J., Wang H., Bao Y., Li Y., Govindaraju M., Yao W., Chen B., Zhang M. Molecular characterization of carbendazim resistance of *Fusarium* species complex that causes sugarcane pokkah boeng disease // BMC Genomics. 2019. V. 20. Art. 115.
 17. Zhao B., He D., Wang L. Advances in *Fusarium* drug resistance research // J. Global Antimicrob. Resist. 2021. V. 24. P. 215–219.
 18. Орина А.С., Хюмти А.В., Шпанев А.М. Фунгицидная активность химических и биологических препаратов в отношении возбудителей альтернариоза картофеля // Агрохимия. 2022. № 10. С. 47–54.
 19. Bojanowski A., Avis T.J., Pelletier S., Tweddell R.J. Management of potato dry rot // Postharvest Biol. Technol. 2013. V. 84. P. 99–109.
 20. Sandipan P.B., Solanki B.P., Patel N.N., Patel R.L., Verma P.D., Desai H.R. Efficacy of different fungicides against dry rot pathogen of potato caused by *Fusarium* sp. under *in vitro* condition // Cercetari Agronomice in Moldova. 2016. V. 49(4). P. 69–74.
 21. Pearson M.A., Miller G.W. Benomyl // Encyclopedia of toxicology. 3rd Edit. Cambridge: Academic Press, 2014. P. 411–412.
 22. Kara M., Oztas E., Ramazanoğulları R., Kouretas D., Nepka C., Tsatsakis A.M., Veskokoukis A.S. Benomyl, a benzimidazole fungicide, induces oxidative stress and apoptosis in neural cells // Toxicol. Rep. 2020. V. 7. P. 501–509.
 23. Daami-Remadi M., Ayed F., Jabnoun-Khiareddine H., Hibar K., El Mahjoub M. *In vitro*, *in vivo* and *in situ* evaluation of fungicides tested individually or in combination for the control of the fusarium dry rot of potato // Inter. J. Agricult. Res. 2006. V. 1. P. 564–572.
 24. Vatankhah M., Saberi-Riseh R., Eskandari M.M., Afzali H. Evaluation of some fungicides for the control of *Fusarium* dry rot of potato // J. Crop Protect. 2019. V. 8(3). P. 275–285.
 25. Gupta P.K., Singh S.K., Shikha S. *In vitro* efficacy of different fungicides against *Fusarium solani* isolate causing root rot of papaya (*Carica papaya* L.) // Inter. J. Chem. Studies. 2020. V. 8(3). P. 221–224.
 26. Peters R.D., Platt H.W., Drake K.A., Coffin R.H., Moorehead S., Clark M.M., Al-Mughrabi K.I., Howard R.J. First report of fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato seed-piece decay // Plant Disease. 2008. V. 92(1). P. 172.
 27. Gachango E., Kirk W., Hanson L., Rojas A., Tumbalam P., Shetty K. First report of *in vitro* fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in Michigan // Plant Disease. 2011. V. 95(2). P. 228.
 28. Akosah Y.A., Kostennikova Z.S., Lutfullin M.T., Lutfullina G.F., Afordoanyi D.M., Vologin S.G., Mardanova A.M. Induced expression of *CYP51a* and *HK1* genes associated with penconazole and fludioxonil resistance in the potato pathogen *Fusarium oxysporum* // Microorganisms. 2023. V. 11. Art. 1257.
 29. Qiu J.B., Yu M.Z., Yin Q., Xu J.H., Shi J.R. Molecular characterization, fitness, and mycotoxin production of *Fusarium asiaticum* strains resistant to fludioxonil // Plant Disease. 2018. V. 102(9). P. 1759–1765.
 30. Platt H. Resistance to thiabendazole in *Fusarium* species and *Helminthosporium solani* in potato tubers treated commercially in eastern Canada // Phytoprotection. 1997. V. 78(1). P. 1–10.

Effect of Fungicides on *Fusarium* Fungi Caused Potato Dry Rot

A. S. Orina^{a, #}, O. P. Gavrilo^a, I. I. Trubin^a, T. Yu. Gagkaeva^a

^aAll-Russian Institute of Plant Protection,
sh. Podbel'skogo 3, Saint-Petersburg, 196608, Russia

[#]E-mail: orina-alex@yandex.ru

A laboratory assessment of the effect of 4 fungicides containing active substance (a.s.) of different chemical classes on the growth of strains of 2 dominant species of *Fusarium* fungi, pathogens of fusarium dry rot of potatoes, was carried out. The drug containing benomyl most effectively suppressed the growth of *F. sambucinum* and *F. solani* strains by an average of $76 \pm 4\%$ compared with the control. The drug containing azoxystrobin turned out to be the least effective – inhibition of strain growth averaged $35 \pm 5\%$. The significant influence of the factors “species affiliation” and “region of origin” of the strain and their interaction on the sensitivity of strains of both *Fusarium* species to each of the 4 fungicides has been shown. The risk of developing resistance in *F. sambucinum* to a.s. of different classes was noted.

Keywords: *Solanum tuberosum*, tubers, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium solani*, fungicides.

УДК 632.7:632.95.024.2

АКТИВНОСТЬ И НЕКОТОРЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАРБОКСИЛЭСТЕРАЗ У МОДЕЛЬНЫХ НАСЕКОМЫХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СУБСТРАТА ФЕРМЕНТА[§]

© 2024 г. А. Г. Кинарейкина¹, Е. А. Силиванова^{1,*}¹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН

625041 Тюмень, ул. Институтская, 2, Россия

*E-mail: sylvanovaea@mail.ru

Комнатная муха *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) часто служит модельным организмом для тестирования инсектицидов и изучения механизмов инсектицидной устойчивости насекомых. Оценка активности ферментов детоксикации, в том числе карбоксилэстераз (CarE), является одним из этапов в таких исследованиях. В данной работе проведено сравнение кинетических параметров ($V_{\max}$ и K_m) CarE имаго 2-х лабораторных линий *M. domestica* (TY, UF) в зависимости от использованного субстрата фермента. У особой линии TY независимо от пола насекомых скорости гидролиза 2-х субстратов (α - и β -нафтилацетата) не отличались. У самцов линии UF удельная и максимальная скорость гидролиза β -NA была соответственно в 1.90 и в 1.57 раза меньше, чем α -NA; у самок данной линии таких отличий не обнаружено. Отмечены половые отличия в характеристиках CarE при использовании в качестве субстрата *p*-нитрофенилацетата: удельная активность фермента у самцов линии UF была меньше, чем у самок (в 1.62 раза). При использовании α -NA не обнаружено статистически значимых отличий исследованных параметров фермента в зависимости от пола и линии насекомых. Данный субстрат, вероятно, был предпочтительным для измерения ферментативной активности карбоксилэстеразы у модельных насекомых *M. domestica* разных линий.

Ключевые слова: насекомые, *M. domestica* L., детоксикация инсектицидов, кинетические параметры, карбоксилэстеразы, константа Михаэлиса, максимальная скорость реакции.

DOI: 10.31857/S0002188124030063, EDN: DNSGXS

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивость насекомых к инсектицидам остается широко распространенным явлением [1], снижая эффективность применения препаратов и порождая проблемы общественного здравоохранения и загрязнения окружающей среды [2, 3]. Важный аспект контроля численности устойчивых популяций насекомых заключается в изучении биохимических и молекулярных основ инсектицидной резистентности. В качестве модельного организма при тестировании инсектицидов и изучении механизмов формирования инсектицидной устойчивости часто используют синантропных насекомых, в частности лабораторные линии комнатной мухи *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) [4]. К настоящему времени у природных популяций комнатной мухи описана устойчивость к инсектицидам

широко используемых классов химических соединений (органофосфатам, карбаматам, пиретроидам, неоникотиноидам) [5].

Многие инсектициды содержат карбоксильные, фосфатные или карбаматноэфирные связи. Гидролитическое расщепление сложноэфирных связей ферментами насекомых является одним из основных механизмов детоксикации инсектицидов [6]. Ферменты, гидролизующие данные связи, относятся к эстеразам (EST, EC3.1) и представляют собой разнообразную группу с широкой и перекрывающейся субстратной специфичностью [6, 7]. Ярким представителем группы является семейство карбоксилэстераз, которые играют значительную роль в формировании и развитии инсектицидной резистентности [8]. Карбоксилэстеразы (CarE, EC3.1.1.1) – суперсемейство сериновых гидролаз, катализирующих гидролиз сложных эфиров карбоновых кислот на соответствующие спирты и карбоновые кислоты [9–11]. CarE участвуют в метаболической детоксикации эндогенных

[§]Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта № 122122800052-9.

соединений (метаболизм липидов, деградация нейромедиаторов, метаболизм специфических гормонов, феромонов [10] и экзогенных токсичных веществ [12]). Было показано, что CarE играют ключевую роль в защите насекомых от ксенобиотиков, в том числе и пестицидов, таких как пиретроиды [12, 13], карбаматы, фосфорорганические соединения [6, 9–12], рианоиды [2]. Повышенная активность CarE часто связана с устойчивостью насекомых к пестицидам, что было подтверждено у комаров (*Culex tarsalis*, *Culex pipiens quinquefasciatus*, *Aphis gossypii*), мух (*Lucilia cuprina*, *M. domestica*), хлопковой совки (*Helicoverpa armigera*), маленького коричневого плантоппера (*Laodelphax striatellus*), габробракона притупленного (*Habrobracon hebetor*), малого мучного хрущака (*Tribolium confusum*) [10, 11]. Вместе с тем, описано снижение активности фермента, либо разнонаправленные ее изменения у некоторых видов насекомых (в том числе у *M. domestica*), устойчивых к отдельным инсектицидам или подверженных их действию [14–16].

Измерение общей эстеразной активности и активности разных изоформ эстераз осуществляется по скорости гидролиза специфических субстратов. Широко используемыми субстратами являются нафтил ацетаты (α -NA, β -NA), нитрофенил ацетат (ρ -NPA) (рис. 1) [6, 17], 1-нафтил бутират (α -NB) [18], 4-нитрофенил бутират (ρ -NPB) и др. [19]. Из литературных данных следует, что субстратная специфичность карбоксилэстераз насекомых может различаться. Например, у белополового шелкопряда (*Dendrolimus superans*) при исследовании цельного (неочищенного) гомогената и очищенной CarE наблюдали большее сродство фермента к β -NA, чем к α -NA [10]. И, напротив, очищенная рекомбинантная CarE хлопкового червеца (*Helicoverpa armigera*) проявляла более высокую эстеразную активность в отношении α -NA по сравнению с β -NA [11]. У самцов 2-х близкородственных видов муравьев (*Solenopsis invicta*, *S. richteri*) отмечена аналогичная ситуация (более высокая скорость гидролиза α -NA) [20]. Известно также, что карбоксилэстеразы насекомых, даже у близкородственных видов, могут иметь различные характеристики и свойства, не связанные с резистентностью к ксенобиотикам [6, 10]. Например, при использовании в качестве субстрата α -NA более высокая специфическая активность CarE была отмечена у табачного жука (*Lasioderma serricorne*), чем у аптечного жука (*Stegobium paniceum*) [9]. В другом исследовании наблюдали варьирование кинетических параметров (K_m и V_{max}) карбоксилэстеразы при использовании в качестве субстрата β -NA между представителями 6-ти рас тутового шелкопряда (*Bombyx mori*) [19].

Поскольку выявляемая карбоксилэстеразная активность может зависеть от выбранного для ее

определения субстрата или расы/линии насекомых, не всегда ясно, использование какого субстрата даст надежные результаты при оценке характеристик CarE конкретного вида насекомых под воздействием инсектицидов. В отношении модельных организмов полезно иметь наиболее полную характеристику ферментов, которые могут быть вовлечены в обеспечение устойчивости к инсектицидам. Цель работы – сравнение активности и кинетических параметров (K_m , V_{max}) карбоксилэстераз самцов и самок *Musca domestica* L. 2-х лабораторных линий.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для данного исследования были использованы имаго (самки, самцы) 2-х лабораторных линий *Musca domestica* L. – ТУ и UF. Первая линия (ТУ) получена из Новосибирского аграрного университета в 2009 г., вторая (UF) – из Института биохимии и генетики УФИЦ РАН в 2023 г. Обе линии содержались без контакта с инсектицидами в инсектарии Всероссийского научно-исследовательского института ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук.

Были использованы следующие химические реактивы: EDTA (этилендиаминтетрауксусная кислота, $\geq 99.0\%$), PTU (N-фенилтиомочевина, $\geq 98.0\%$), PMSF (фенилметилсульфонил фторид, $> 98.5\%$), DTE (1,4-дителиозэритритол, $\geq 99.0\%$), Triton X-100 (2-[4-(2,4,4-триметилпентан-2-ил) феноксипропан-2-ил]этанол, $\geq 100.0\%$), 1-нафтол ($\geq 99\%$), α -NA (1-нафтил ацетат, $\geq 98\%$), 2-нафтол ($\geq 99\%$), β -NA (2-нафтил ацетат), ρ -NPA (4-нитрофенил ацетат, $\geq 98.0\%$) – производство Sigma-Aldrich, Германия; Реактив Фолина–Чокалтеу – AppliChem, Италия; остальные реактивы (C_2H_3N , Na_2CO_3 , $NaOH$, $Na_3C_6H_5O_7$, $CuSO_4$, NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4) – марки ЧДА отечественного производства (ЗАО “Химприбор”, ООО “Компонент Реактив”, ООО “АО РЕАХИМ”).

Из особей *M. domestica* готовили индивидуальные гомогенаты с использованием стеклянной ступки и пестика, на холоде, с добавлением 0.1 М фосфатного буфера pH 7.6, содержащего 1 mM EDTA, 1 mM PTU, 1 mM PMSF, 1 mM DTE, 1% Triton X-100. Затем гомогенаты центрифугировали в течение 2 мин при 12500 об./мин. Полученные супернатанты использовали для определения эстеразной активности [21] и количественного определения белка по Лоури [22], используя БСА в качестве стандарта.

Ферментативную активность определяли по скорости гидролиза специфичного субстрата (α -NA, β -NA, ρ -NPA) [21] на микропланшетном фотометре Multiskan FC (Thermo Fisher Scientific Inc., Финляндия). Для определения удельной ферментативной активности измерение проводили с использованием следующих концентраций соответствующих субстратов: 0.3 мМ α -NA, 0.3 мМ β -NA, 1 мМ ρ -NPA. Для установления кинетических параметров измерение активности проводили при 5-ти концентрациях каждого из субстратов.

При измерении активности CarE к гомогенатам добавляли соответствующий специфический субстрат (α -NA и β -NA соответственно) в фосфатном буфере (20 мМ pH 7.2). После 5-минутной инкубации при комнатной температуре реакцию останавливали при помощи 3% SDS с 0.3% Fast Blue и измеряли поглощение при 540 нм в режиме “конечная точка” [21, 23]. При измерении активности ρ -NPA-эстеразной активности к гомогенатам добавляли смесь ρ -NPA и фосфатного буфера (50 мМ pH 7.2). Измеряли поглощение при 405 нм, 30°C, в течение 5 мин с интервалом в 15 с в режиме “кинетики” [21]. Кинетические параметры (K_m , V_{max}) определяли путем построения графиков Лайнуивера–Берка на основании полученной эстеразной

активности по отношению к различным концентрациям специфических субстратов.

Статистический анализ результатов определения активности и кинетических параметров (K_m , V_{max}) карбоксилэстераз проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и критерия Тьюки–Крамера для множественных сравнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее было показано, что карбоксилэстеразная активность насекомых может варьировать в зависимости от использованного субстрата фермента, а в отношении одного и того же субстрата — в зависимости от вида [10, 24] и пола особей внутри одного вида [18]. В ходе настоящей работы для оценки активности и кинетических параметров эстераз (K_m , V_{max}) *M. domestica* было использовано 3 специфических субстрата: α -нафтил ацетат, β -нафтил ацетат и ρ -нитрофенил ацетат (рис. 1).

Данные соединения традиционно используют в качестве субстратов для измерения активности разных изоферментов эстераз [25].

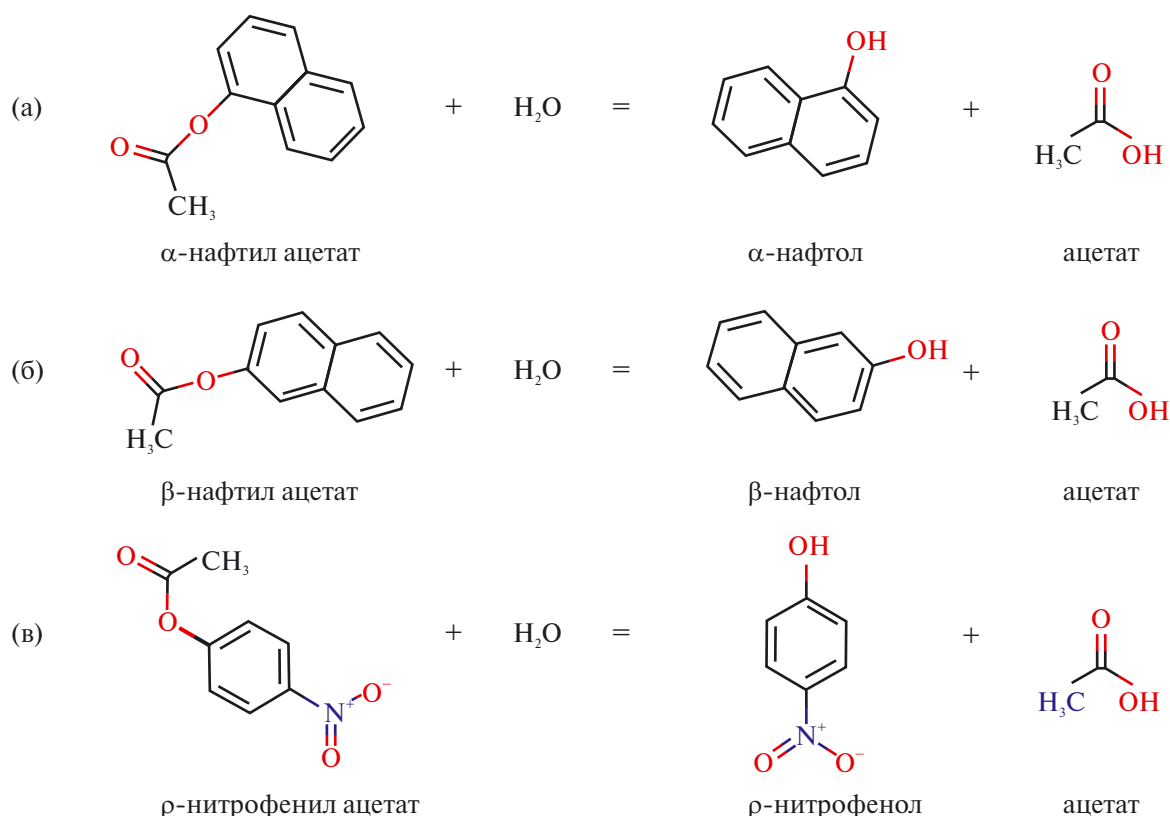


Рис. 1. Гидролиз карбоксилэстеразами различных субстратов: (а) — α -нафтил ацетат (α -NA), (б) — β -нафтил ацетат (β -NA), (в) — ρ -нитрофенил ацетат (ρ -NPA) [17].

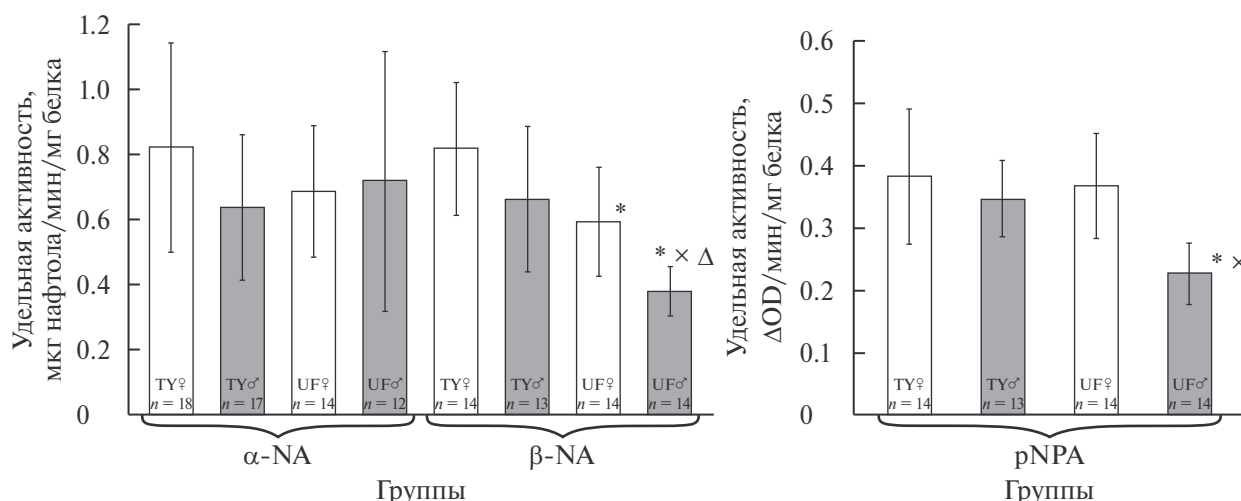


Рис. 2. Удельная активность карбоксилэстеразы имаго *Musca domestica* линий TY и UF в зависимости от субстрата фермента и пола насекомых ($m \pm SD$): m – среднее, SD – стандартное отклонение; α -NA – α -нафтил ацетат, β -NA – β -нафтил ацетат, p -NPA – p -нитрофенил ацетат; n – объем выборки, ΔOD – изменение оптической плотности; величины, статистическая значимость отличий согласно критерию Тьюки–Крамера ($p \leq 0.05$): * – между 2-мя линиями в пределах одного пола; × – между полами в пределах одной линии; Δ – в сравнении с α -NA-активностью особей аналогичной группы.

Наименьшие показатели удельной активности CarE независимо от использованного субстрата отмечены у самцов линии UF. Активность фермента в отношении β -NA и p -NPA у данной группы насекомых была в 1.75 и 1.53 раза соответственно меньше, чем у самцов линии TY. Также были отмечены статистически значимые отличия удельной активности CarE относительно β -NA и p -NPA между самками и самцами линии UF: у самцов активность была в 1.57 и 1.62 раза меньше. Удельная активность у самцов линии TY в отношении α -NA и β -NA была в 1.29 ($p = 0.30$) и в 1.24 ($p = 0.11$) раза соответственно меньше, чем у самок данной линии (рис. 2).

В нашем исследовании у особей линии TY величины K_m и V_{max} , полученные при использовании в качестве субстрата α -NA, были сопоставимы с показателями, полученными при использовании β -NA. У самок линии UF максимальная скорость гидролиза α - и β -NA не отличалась, а у самцов данной линии максимальная скорость гидролиза β -NA была в 2.14 раза меньше, чем α -NA ($p \leq 0.05$) (табл. 1).

Однофакторный дисперсионный анализ не выявил статистически значимого варьирования величин кинетических параметров (K_m , V_{max}) между группами насекомых при использовании для измерения активности α -NA в качестве субстрата. В работе [20] при исследовании кинетических параметров α -NA- и β -NA-эстераз 2-х близкородственных видов муравьев (*Solenopsis invicta*, *S. richteri*) была отмечена статистически достоверная разница между кинетическими параметрами для α -NA разных колоний *S. invicta*, но не *S. richteri*.

Анализ кинетических параметров ферментов хлебного точильщика (*Stegobium paniceum*) и табачного жука (*Lasioderma serricorne*) показал, что у особей *S. paniceum* отмечена более высокая величина K_m и более низкая – V_{max} (ниже – каталитическая активность) при использовании субстрата α -NA, чем у *L. serricorne* ($p \leq 0.05$) [9].

Статистически достоверных отличий K_m при определении активности β -NA-эстеразы в ходе исследования обнаружено не было (табл. 1). Выявлены межполовые и межпопуляционные статистически значимые отличия V_{max} . Величина V_{max} CarE самцов линии UF была меньше, чем самок той же линии в 1.57 раза ($p \leq 0.05$). Фермент особей линии UF характеризовался меньшей скоростью гидролиза β -NA. Величины V_{max} фермента самок и самцов линии UF были в 1.37 и в 1.90 раза ($p \leq 0.05$) соответственно меньше, чем особей того же пола линии TY. Полученные результаты соответствуют данным других авторов. В уже упоминавшемся исследовании [20] для β -NA было отмечено статистически достоверное варьирование кинетических параметров фермента между колониями *S. invicta*, у другого вида (*S. richteri*) такие отличия не обнаружили. При изучении кинетических параметров β -NA-эстеразы у 6-ти рас тутового шелкопряда (*Bombyx mori*) самая высокая и низкая величина K_m отмечена у рас PMX (0.1175 mM) и AP 12 (0.0368 mM) соответственно, максимальная V_{max} была отмечена у расы Hosa Mysore (0.25 mM/мин), минимальная – MU-1 (0.0539 mM/мин) [19]. В отношении p -NPA-эстеразы было отмечено, что у самок линии UF величина K_m была наименьшей: меньше,

Таблица 1. Кинетические параметры карбоксилэстераз имаго *Musca domestica* L. ($m \pm SD$).

Линия	Пол	<i>n</i>	<i>K_m</i> , мМ	<i>V_{max}</i> , мкг нитрофенола/мин/мг белка
α -NA				
TY	♀	10	0.037 ± 0.021	0.933 ± 0.382
	♂	12	0.047 ± 0.036	0.771 ± 0.357
UF	♀	13	0.023 ± 0.006	0.682 ± 0.216
	♂	13	0.032 ± 0.016	0.814 ± 0.457
β -NA				
TY	♀	14	0.032 ± 0.011	0.814 ± 0.185
	♂	11	0.040 ± 0.013	0.721 ± 0.187
UF	♀	14	0.036 ± 0.020	$0.596 \pm 0.162^{* \times}$
	♂	14	0.034 ± 0.016	$0.380 \pm 0.085^{* \Delta}$
ρ -NPA				
Линия	Пол	<i>n</i>	<i>K_m</i> , мМ	<i>V_{max}</i> , ΔOD /мин/мг белка
TY	♀	14	0.352 ± 0.228	0.477 ± 0.160
	♂	12	0.286 ± 0.153	0.388 ± 0.088
UF	♀	10	0.177 ± 0.086	0.395 ± 0.093
	♂	11	0.376 ± 0.177	0.302 ± 0.099

Примечание: *m* – среднее, *SD* – стандартное отклонение; TY, UF – разные линии *Musca domestica*, *n* – объем выборки, ΔOD – изменение оптической плотности, величины, статистическая значимость отличий согласно критерию Тьюки–Крамера ($p \leq 0.05$): * – между 2-мя линиями в пределах одного пола, $\times$ – между полами в пределах одной линии, Δ – в сравнении с α -NA-активностью особей аналогичной группы.

чем у самцов той же линии в 2.12 раза и чем у самок TY-линии – в 1.99 раза (табл. 1). Анализ величин *V_{max}* не выявил межпопуляционных и межполовых отличий. Ранее в результате исследования кинетических параметров серинэстеразы EST-4 2-х близкородственных видов дрозофил (*Drosophila mulleri*, *D. arizonae*) выявлено, что при использовании субстрата ρ -NPA величина *K_m* была намного меньше у *D. mulleri* (0.17 мМ), чем у *D. arizonae* (0.74 мМ). Однако, хотя сродство EST-4 к этому субстрату у *D. mulleri* было намного больше, его максимальная скорость была в 20 раз меньше (0.94 мМ/мин), чем у *D. arizonae* (19.33 мМ/мин) [24].

Варьирование кинетических параметров свидетельствуют о разном сродстве фермента к субстрату, эффективности его утилизации и скорости ферментативного гидролиза у разных линий или рас насекомых [19]. Такое варьирование может быть обусловлено особенностями среды обитания. Например, кинетические исследования эстераз с использованием субстратов α - и β -NA у 3-х популяций кузнечиков *Oxya chinensis* из сред с разной интенсивностью и продолжительностью воздействия малатиона показали, что величины *K_m* были близкими, а величины *V_{max}* варьировали у самок и самцов в 3-х популяциях. Показатели *V_{max}* самок были больше, чем у самцов в популяциях BD

(Baodi: высокая интенсивность воздействия ранее, но низкая в настоящее время) и JN (Jinnan: высокая интенсивность воздействия), тогда как в популяции BDG (Beidagang: низкая интенсивность воздействия) величины *V_{max}* самцов были больше, чем самок со всеми субстратами [18].

Для многих ферментов насекомых характерен половой диморфизм и изменение активности в онтогенезе. Например, в ряде работ представлены данные о том, что у самок дрозофилы (*D. melanogaster*) активность ацетилхолинэстеразы меньше, чем у самцов [26, 27]. В исследовании [28] по оценке возрастных изменений гексоизомеразной, эстеразной, глюкозо-6-фосфат дегидрогеназной и фосфатазной активностей у *D. melanogaster* было показано, что эстеразная активность с возрастом увеличивалась, при этом у самцов обнаружено более значительное увеличение активности с возрастом (в 2.6 раза по сравнению с молодыми самцами), чем у самок (в 1.5 раза по сравнению с молодыми самками). В нашем исследовании отличия характеристик CarE в зависимости от пола выявлены как у особей линии UF (β -NA-эстеразная и ρ -NPA-эстеразная активности самцов были меньше).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты определения кинетических параметров эстеразной активности имаго *Musca domestica* L. указывали на наличие межпопуляционных различий у 2-х лабораторных линий (ТУ и UF). У особей линии ТУ скорости гидролиза двух субстратов (α - и β -NA) не различались статистически значимо (как самок, так и самцов), в то время как у особей линии UF скорость гидролиза разных субстратов отличалась в зависимости от пола: у самцов скорость гидролиза β -NA была меньше, чем скорость гидролиза α -NA. У особей линии UF отмечены статистически значимые отличия величин $V_{\max}$ и удельной β -NA-эстеразной активности и ρ -NPA-эстеразной активности в зависимости от пола, что не обнаружено у представителей линии ТУ. О межпопуляционных различиях свидетельствовали также меньшие величины максимальной скорости гидролиза β -NA ферментом особей линии UF относительно данного параметра особей линии ТУ.

Полученные результаты позволили определить наиболее подходящий субстрат для выявления межполовых и межпопуляционных особенностей активности и кинетических параметров эстераз насекомых на примере *M. domestica*. Поскольку при использовании в качестве субстрата α -NA были получены более стабильные результаты, то данный субстрат предпочтителен для измерения ферментативной активности карбоксилэстеразы модельных насекомых *M. domestica* разных линий. В дальнейшей работе необходимо оценить, будут ли сохраняться обнаруженные особенности активности кинетических параметров фермента при остром и хроническом воздействии инсектицидами на имаго *M. domestica*, а также выявить оптимальный субстрат CarE для обнаружения сублетальных эффектов инсектицидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sparks T.C., Crossthwaite A.J., Nauen R., Banba S., Cordova D., Earley F., Ebbinghaus-Kintscher U., Fujioaka S., Hirao A., Karmon D., Kennedy R., Nakao T., Popham H.J.R., Salgado V., Watson G.B., Wedel B.J., Wesels F.J. Insecticides, biologics and nematocides: Updates to IRAC's mode of action classification — A tool for resistance management // *Biochem. Physiol.* 2020. V. 167. 104587. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
2. Shah R.M., Shad S.A. Genetics and mechanism of resistance to chlorantraniliprole in *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) // *Ecotoxicology*. 2021. V. 30. P. 552–559. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02390-w>
3. Bass C., Jones M. Editorial overview: Pests and resistance: Resistance to pesticides in arthropod crop pests and disease vectors: mechanisms, models and tools // *Curr. Opin. Insect Sci.* 2018. V. 27. P. 4–7. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.04.009>
4. Scott J.G., Warren W.C., Beukeboom L.W. Genome of the house fly, *Musca domestica* L., a global vector of diseases with adaptations to a septic environment // *Genome Biol.* 2014. V. 15(10). 466. <https://doi.org/10.1186/s13059-014-0466-3>
5. Давлианидзе Т.А., Еремина О.Ю., Олифер В.В. Резистентность к инсектицидам комнатной мухи *Musca domestica* в центре европейской части России // *Вестн. защиты раст.* 2022. Т. 105. № 3. С. 114–121. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-3-15346>
6. Jensen S.E. Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* // *Integrat. Pest Manag. Rev.* 2000. V. 5. P. 131–146. <https://doi.org/10.1023/A:1009600426262>
7. Oakeshott J.G., van Papenrecht E.A., Boyce T.M., Healy M.J., Russell R.J. Evolutionary genetics of *Drosophila esterases* // *Genetica*. 1993. V. 90. P. 239–268. <https://doi.org/10.1007/BF01435043>
8. Gao M., Mu W., Wang W., Zhou C., Li X. Resistance mechanisms and risk assessment regarding indoxacarb in the beet armyworm, *Spodoptera exigua* // *Phytoparasitica*. 2014. V. 42. P. 585–594. <https://doi.org/10.1007/s12600-014-0396-3>
9. Li C., Li Z.Z., Cao Y., Zhou B., Zheng X. Partial characterization of stress-induced carboxylesterase from adults of *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae) subjected to CO₂-enriched atmosphere // *J. Pest. Sci.* 2009. V. 82. P. 7–11. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0221-1>
10. Zou C.S., Cao C.W., Zhang G.C., Wang Z.Y. Purification, characterization, and sensitivity to pesticides of carboxylesterase from *Dendrolimus superans* (Lepidoptera: Lasiocampidae) // *J. Insect Sci.* 2014. V. 14(260). P. 1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu122>
11. Bai L.S., Zhao C.X., Xu J.J., Feng C., Li Y.Q., Dong Y.L., Ma Z.Q. Identification and biochemical characterization of carboxylesterase 001G associated with insecticide detoxification in *Helicoverpa armigera* // *Pest. Biochem. Physiol.* 2019. V. 157. P. 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.03.009>
12. Yin F., Ma W., Li D., Zhang X., Zhang J. Expression and kinetic analysis of carboxylesterase LmCesA1 from *Locusta migratoria* // *Biotechnol. Lett.* 2021. V. 43. P. 995–1004. <https://doi.org/10.1007/s10529-021-03086-1>
13. Feng X., Liu N. Functional analyses of house fly carboxylesterases involved in insecticide resistance // *Front. Physiol.* 2020. V. 11. 595009. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.595009>
14. Zhang Y., Guo M., Ma Z., You C., Gao X., Shi X. Esterase-mediated spinosad resistance in house flies *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) // *Ecotoxicology*. 2020. V. 29. P. 35–44. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02125-y>
15. Carvalho S.M., Belzunces L.P., Carvalho G.A., Brunet J.L., Badiou-Beneteau A. Enzymatic biomarkers as tools to as-

- sess environmental quality: A case study of exposure of the honeybee *Apis mellifera* to insecticides // Environ. Toxicol. Chem. 2013. V. 32. P. 2117–2124. <https://doi.org/10.1002/etc.2288>
16. Wei D.D., He W., Miao Z.Q., Tu Y.Q., Wang L., Dou W., Wang J.J. Characterization of esterase genes involving malathion detoxification and establishment of an RNA interference method in *Liposcelis bostrychophila* // Front. Physiol. 2020. V. 11. P. 274. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00274>
 17. BRENDA Enzyme Database – URL: <https://www.brenda-enzymes.org/> (дата обращения: 21.06.2023).
 18. Wu H., Yang M., Guo Y., En-bo M.A. The Susceptibilities of *Oxya chinensis* (Orthoptera: Acridoidea) to malathion and comparison of the esterase properties from three collected populations in Tianjin Area, China // Agricult. Sci. China. 2009. V. 8(1). V. 76–82. [https://doi.org/10.1016/s1671-2927\(09\)60011-0](https://doi.org/10.1016/s1671-2927(09)60011-0)
 19. Vishnu Priya S., Somasundaram P. Bio-molecular characterization of stress enzyme profile on esterase in selected silkworm races of *Bombyx mori* (L.) for biomarker selection // Adv. Biomarker Sci. Technol. 2019. V. 1. P. 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.abst.2019.05.002>
 20. Chen J., Rashid T., Feng G. Esterase in imported fire ants, *Solenopsis invicta* and *S. richteri* (Hymenoptera: Formicidae): Activity, kinetics and variation // Sci. Rep. 2014. V. 4(7112). <https://doi.org/10.1038/srep07112>
 21. Quantification methodology for enzyme activity related to insecticide resistance in *Aedes aegypti*. Ministry of Health of Brazil, Fundação Oswaldo Cruz. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 128 p.
 22. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. 1951. V. 193(1). P. 265–275.
 23. Abdel-Aal Y.A.I., Lampert E.P., Wolff M.A., Roe R.M. Novel substrates for the kinetic assay of esterases associated with insecticide resistance // Experientia. 1993. V. 49. P. 571–575. <https://doi.org/10.1007/BF01955166>
 24. Lopes V.F., Cabral H., Machado L.P., Mateus R.P. Purification and characterization of a specific late-larval esterase from two species of the *Drosophila repleta* group: contributions to understand its evolution // Zool. Stud. 2014. V. 53(6). <https://doi.org/10.1186/1810-522X-53-6>
 25. Milone J.P., Rinkevich F.D., McAfee A., Foster L.J., Tarry D.R. Differences in larval pesticide tolerance and esterase activity across honey bee (*Apis mellifera*) stocks // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2020. V. 206. 111213. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111213>
 26. Khatuna S., Mandia M., Rajakb P., Roy S. Interplay of ROS and behavioral pattern in fluoride exposed *Drosophila melanogaster* // Chemosphere. 2018. V. 209. P. 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.074>
 27. Hu X., Fu W., Yang X., Mu Y., Gu W., Zhang M. Effects of cadmium on fecundity and defence ability of *Drosophila melanogaster* // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2019. V. 171. P. 871–877. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.029>
 28. Hall J.C. Age-dependent enzyme changes in *Drosophila melanogaster* // Exp. Gerontol. 1969. V. 4. P. 207–222.

Activities and Kinetic Parameters of Carboxylesterases in Model Insects depending on a Substrate of the Enzyme

A. G. Kinareikina^a, E. A. Silivanova^{a, #}

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the RAS, ul. Institutskaya 2, Tyumen 625041, Russia

[#]E-mail: sylvanovaea@mail.ru

House flies *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) serve as a common model organism for testing of insecticides and research of insecticidal resistance mechanisms in insects. One of important stages is to assess of detoxifying enzyme activities including carboxylesterase activities (CarE). In this study, we compared specific activities and kinetic parameters (V_{max} and K_m) of CarE in adults *M. domestica* of two laboratory strains (TY, UF) depending on the enzymatic substrate used. The specific CarE activities towards α - and β -naphthyl acetate (α -NA and β -NA) were similar in both males and females of the TY strain. In males of the UF strain, the value of the specific and the maximal velocity (V_{max}) of β -NA hydrolysis was 1.90- and 1.57-fold respectively less than that of α -NA; this difference was not observed in females of the same strain. Some characteristics of CarE varied depending on sex of insects when p-nitrophenyl acetate was used as an enzymatic substrate. In particular, the specific activity was 1.62-fold less in males of the UF strain compared to this value in females. The activity and main kinetic parameters of CarE towards α -NA not differed statistically significant depending on sex and the strains. Based on the results obtained we suggest that α -naphthyl acetate is the preferred substrate to evaluate the CarE enzymatic activity in the model insect *M. domestica* of different strains.

Keywords: insects, *Musca domestica* L., insecticide detoxification, kinetic parameters, Michaelis constant, maximal velocity of reaction.

УДК 631.46:631.472.51:631.472

ТРАНСФОРМАЦИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ПРИ ЕЕ ВНЕСЕНИИ В ПОЧВУ АГРОЦЕНОЗА[§]

© 2024 г. С. К. Стеценко^{1,*}, Е. М. Андреева¹, Г. Г. Терехов¹¹Ботанический сад УрО РАН
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а, Россия

*E-mail: stets_s@mail.ru

Многолетнее применение пестицидов в лесных питомниках Свердловской обл. стало причиной снижения качества посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В качестве способа, позволяющего в какой-либо степени ослабить пестицидный стресс и создать оптимальные условия выращивания посадочного материала, подходящие для хвойных пород, было предложено однократное использование лесной подстилки (20 кг/м² в свежем состоянии). Этот субстрат легче получить из насаждения, близко расположенного к лесному агроценозу. Однако при ряде обстоятельств лесная подстилка может быть получена из мест, географически удаленных от лесного питомника. Представлены результаты исследования, подтверждающие возможность использования лесной подстилки, полученной из насаждений, расположенных на разном удалении от лесного питомника, в биоремедиации загрязненной пестицидами почвы и повышении качества посадочного материала сосны обыкновенной. В полевом эксперименте образцы лесной подстилки были отобраны вблизи 2-х лесных питомников и внесены в почву опытных делянок перед посевом сосны. Часть делянок содержала раундап (3 л д.в./га), другая оставалась без обработки. В каждом питомнике были созданы делянки, содержащие как подстилку из близлежащего насаждения, так и полученную из более удаленного лесного участка. Было установлено, что максимум трансформирующей активности микробоценоза внесенной лесной подстилки и интенсификация процессов разложения пестицидного загрязнения вероятнее всего будут наблюдаться в первые сроки интродукции микробоценоза. Обнаруженный эффект имел место вне зависимости от того, с какого расстояния от места применения был получен лесной субстрат.

Ключевые слова: сосна, агроценоз, лесная подстилка, лесной питомник, микробоценоз, раундап, биоремедиация.

DOI: 10.31857/S0002188124030078, EDN: DNPBZZ

ВВЕДЕНИЕ

Долговременная эксплуатация почв лесных питомников приводит к накоплению ряда отрицательных явлений, снижающих эффективность получения качественного посадочного материала хвойных растений [1–3]. Среди негативных последствий основным является повышенная пестицидная нагрузка на пахотную почву вследствие постоянного применения химических средств ухода за посевами, приводящая к накоплению остаточных количеств пестицидов и их метаболитов в корнеобитаемом слое [4]. Ранее было установлено, что фенотипические отклонения (тератоморфность) наиболее выражены у семян сосны обыкновенной, причиной которых является систематическое применение пестицидов при уходе за посевами.

Многолетние исследования данной проблемы подтвердили, что количество семян сосны с нормальным фенотипом (у двулетних семян прямой ствол с хорошим приростом в высоту) служит биологическим индикатором пестицидного загрязнения почвы и пригодности ее для выращивания данной породы [5]. Сеянцы с нарушением морфологического облика (условно нормальные и аномальные) – снижение прироста стволика при активно нарастающей хвое, развитие боковых побегов из почек у основания центрального побега – не пригодны к лесовосстановительным мероприятиям, поскольку обладают пониженной жизнеспособностью и не должны быть использованы при посадке на лесокультурной площади [6].

Самоочищение почвы от пестицидов может занимать не один десяток лет [7], и разработки, направленные на создание малозатратных и экологически безопасных технологий ускоренной

[§]Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН».

ремедиации почв лесных агроценозов, приобретают актуальность и важны как в научном, так и в практическом плане. Микробиологический способ разложения пестицидов и их метаболитов рассматривается как наиболее перспективный вариант быстрого оздоровления почвы [8, 9]. Активно ведется разработка специализированных штаммов микроорганизмов, работающих против конкретного загрязняющего вещества [10–13]. Пока недостатком такого способа на данный момент является то, что подобные разработки пока еще не готовы к практическому применению прежде всего с точки зрения экономической рентабельности для лесных хозяйств.

В качестве альтернативного решения, позволяющего ослабить пестицидный стресс и создать оптимальные условия выращивания посадочного материала, подходящие для хвойных пород, было предложено однократное использование лесной подстилки [14]. Лесная подстилка является ценным биологическим ресурсом и может служить источником восстановления и сохранения биологического разнообразия агрофитоценозов. Это экологически оправданный метод биоремедиации, при котором ликвидируется загрязнение, а также создается благоприятная среда, специфичная по отношению к хвойным породам деревьев, что впоследствии облегчает адаптацию сеянцев при посадке их в лес.

Лесную подстилку легче получить из насаждения, близко расположенного к лесному агроценозу. Однако при ряде обстоятельств лесная подстилка может быть получена из мест, географически удаленных от лесного питомника. Эффективность использования “генетически близких” и “генетически далеких” подстилок от места их практического использования в целях биоремедиации пока не изучали.

Цель работы — обосновать возможность использования лесной подстилки, полученной из насаждений, расположенных на разном удалении от лесного питомника, в биоремедиации загрязненной пестицидами почвы и повышении качества посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В ходе исследования были поставлены следующие задачи: определить эффективность внесения лесных подстилок, собранных в различной удаленности от места проведения эксперимента, в процессе биоремедиации почвы, содержащей пестицид; изучить, как меняется соотношение основных таксономических групп микроорганизмов в почве с добавлением лесной подстилки за первый год роста сеянцев; выявить особенности формирования корневой системы сеянцев сосны при добавлении лесного мелиоранта в среду их роста.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение эффекта внесения лесных подстилок в пахотную почву проводили в Балтымском и Березовском лесных питомниках (Березовское лесничество, Свердловская обл.), функционирующим на постоянных площадях более 40 лет. Расстояние между этими лесными агроценозами составляет 20 км. Почва Балтымского питомника характеризуется как суглинок легкий крупнопылеватый сильнокаменистый. Содержание гумуса — 4.8%, pH_{KCl} 4.63, содержание подвижных форм фосфора и калия — 2.4 и 9.4 мг/100 г почвы соответственно. Почва Березовского питомника — суглинок средний крупнопылеватый. Содержание гумуса — 4.8%, pH_{KCl} 3.91, содержание подвижных форм фосфора и калия — 0.9 и 9.0 мг/100 г почвы соответственно. По большинству агрохимических показателей почвы питомников можно считать слабоокультуренными. Анализ почвенных показателей выполнен в Экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по стандартным методикам.

В эксперименте испытывали 2 образца лесных подстилок из смешанных насаждений, которые вносили в пахотную почву за 10 сут перед посевом сосны: 1 — лесная подстилка из насаждения, расположенного на расстоянии 2 км от Балтымского лесного питомника (**ЛП Балтымский**), где проводили исследование, тип леса — сосняк травяно-липняковый с переходом к сосняку орляковому; 2 — лесная подстилка из насаждения, расположенного на расстоянии 1 км, от Березовского лесного питомника (**ЛП Березовский**), тип леса — сосняк ягодниковый с переходом к ельнику-сосняку травяному. Выбранные типы леса относятся к одной группе эдафических условий почв по режиму увлажнения — устойчиво свежие. Схема эксперимента состояла из так называемого “перекрестного” внесения подстилки — в почву питомников вносили 2 лесных субстрата как из отдаленного места сбора, так и из близкорасположенного. Соответственно вариантами эксперимента в обоих питомниках были: 1 — ЛП Балтымский, 2 — ЛП Березовский, 3 — контроль без добавления подстилки. Масса лесного субстрата (подстилки), вносенного весной перед посевом на 1 м² пахотной почвы, составляла 20 кг в свежем состоянии. После его внесения площадки равномерно перекапывали на глубину 15–20 см. Половина опытных площадок в каждом питомнике была обработана раундапом (3 л д.в./га).

По окончании вегетационного периода однолетние и двухлетние сеянцы сосны выкапывали и исследовали в лабораторных условиях. У двухлетних растений измеряли высоту и диаметр стволика и распределяли их на фенотипические группы [2]. По соотношению нормальных и тератоморфных

сеянцев устанавливали эффективность биоремедиации почвы при внесении естественного микробоценоза. Для оценки состояния микробоценозов отбирали образцы почвы и подстилок перед добавлением субстратов в пашню и в конце первого вегетационного сезона уже в вариантах эксперимента. Учет количества микроорганизмов проводили по методу Новогрудского [15] — напылением почвы на “голодный” агар-агар, инкубирование в термостате и учет колоний в зоне обрастания почвенных частиц. Определение проводили в двукратной повторности. О развитии корневой системы сосны судили на основании морфометрических показателей: у однолетних сеянцев — длина главного корня, плотность проводящих и сосущих корней 1-го порядка, у двулетних — длина главного и бокового корня 1-го порядка, плотность размещения боковых корней 1-го порядка. Также у 1-летних сеянцев устанавливали интенсивность микоризации [16].

Результаты измерений параметров сеянцев анализировали методом математической статистики с применением программы Statistica 10.0. Полученные данные в выборках соответствовали нормальному распределению, сравнение результатов между показателями проводили с использованием *t*-критерия Стьюдента. Определение фактора, оказывающего значимое влияние на развитие корневой системы сеянцев, проводили методом дисперсионного анализа с использованием модуля “Breakdown & one-way ANOVA”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов распределения сеянцев по фенотипическим группам показал, что оба образца лесной подстилки в Балтымском питомнике улучшили условия произрастания посадочного материала сосны. Кроме того, они положительно влияли на состояние сеянцев: в площадках, где не было предварительной обработки гербицидом, и почва обладала только остаточным накопленным количеством загрязнения, применение лесного субстрата позволило получить сеянцев нормального фенотипа на 50% больше (табл. 1).

В вариантах, где перед началом эксперимента площадки обрабатывали раундапом, также был отмечен положительный эффект от применения лесных подстилок, но количество нормальных сеянцев не сильно различалось в зависимости от образца лесного мелиоранта. В эксперименте на базе Березовского питомника такой ясной ответной реакции на внесение подстилок не было. В контрольном варианте было отмечено ≈35% сеянцев с нормальным фенотипом, в присутствии раундапа в почве этот показатель ожидаемо снизился. Добавление лесных подстилок способствовало увеличению числа нормальных сеянцев на фоне загрязнения пестицидом. В отсутствие такового максимальный выход нормальных растений отмечен при добавлении подстилки из более дальнего месторасположения (ЛП Балтымский). Внесение лесных субстратов способствовало повышению количества сеянцев аномального фенотипа. В данном случае аномальность была связана с более активной инициацией роста боковых побегов из обычно спящих

Таблица 1. Распределение 2-летних сеянцев сосны по фенотипическим группам

Вариант добавления мелиоранта	Вариант обработки почвы гербицидом	Нормальный фенотип, нормальные сеянцы, %	Тератоморфный фенотип, %		Всего, %
			условно нормальные	аномальные	
Балтымский питомник					
ЛП Балтымский	без обработки	58.7	31.9	9.4	100
	раундап	39.7	54.8	5.5	100
ЛП Березовский	без обработки	41.0	57.0	2.0	100
	раундап	42.7	52.7	4.6	100
Контроль (без ЛП)	без обработки	7.6	73.6	18.8	100
	раундап	2.3	95.4	2.3	100
Березовский питомник					
ЛП Балтымский	без обработки	41.9	37.2	20.9	100
	раундап	27.1	56.0	16.9	100
ЛП Березовский	без обработки	16.3	51.8	31.9	100
	раундап	48.2	32.2	19.6	100
Контроль (без ЛП)	без обработки	34.9	57.8	7.3	100
	раундап	12.9	79.1	8.0	100

Таблица 2. Основные биометрические показатели 2-летних сеянцев сосны обыкновенной (нормальный фенотип)

Вариант добавления мелиоранта	Вариант обработки почвы гербицидом	Балтымский питомник		Березовский питомник	
		высота стволика, см	диаметр стволика, мм	высота стволика, см	диаметр стволика, мм
ЛП Балтымский	без обработки	13.3 ± 0.29	2.7 ± 0.08	9.7 ± 0.25	2.0 ± 0.08
	раундап	11.4 ± 0.31	2.6 ± 0.07	8.6 ± 0.14	1.9 ± 0.06
ЛП Березовский	без обработки	11.6 ± 0.24	2.5 ± 0.07	8.6 ± 0.21	2.0 ± 0.09
	раундап	12.5 ± 0.25	2.7 ± 0.10	11.3 ± 0.23	2.2 ± 0.06
Контроль (без ЛП)	без обработки	10.5 ± 0.29	2.0 ± 0.14	9.7 ± 0.19	2.0 ± 0.06
	раундап	$7.8 \pm 1.15^*$	$1.8 \pm 0.45^*$	8.9 ± 0.20	1.8 ± 0.05

Примечание. В таблице приведены средние арифметические и стандартные ошибки. * Получено недостаточное количество растений для статистического анализа.

придаточных почек у основания стволика. В контрольных вариантах аномальное развитие сеянцев в основном было обусловлено торможением роста в высоту. Максимальный выход сеянцев с нормальным фенотипом отмечен в варианте с ЛП Балтымский с почвой без внесения раундапа и в варианте с ЛП Березовский при добавлении пестицида.

Результаты исследования основных биометрических показателей, по которым определяют стандартность сеянцев сосны, представлена в табл. 2.

Показано, что добавление раундапа в пахотную почву стало причиной снижения показателей высоты и диаметра стволика в экспериментальных посевах в обоих питомниках. Внесение подстилки из близкорасположенного района в почву Балтымского питомника значительно улучшило показатели высоты и толщины стволика в сравнении с таковыми контрольного варианта ($t_{\text{факт}} = 6.83$ и $t_{\text{факт}} = 4.34$ соответственно при $t_{05} = 2.00$). Лесной субстрат, перенесенный из более отдаленного района (ЛП Березовский), также улучшил показатели высоты и диаметра стволика в сравнении с контролем, но немного в меньшей степени ($t_{\text{факт}} = 2.92$ и $t_{\text{факт}} = 3.19$ соответственно при $t_{05} = 2.00$). В вариантах с добавлением раундапа биометрические показатели были больше контроля (особенно в варианте с ЛП Березовский), однако достоверность различий не приведена, поскольку совокупность нормальных сеянцев в данном случае была слишком мала для статистического анализа.

В Березовском питомнике в контрольном варианте внесение раундапа привело к уменьшению размеров высоты и толщины стволика. Различия в контрольных вариантах по этим показателям было небольшое, но достоверное: $t_{\text{факт}} = 2.90$ и $t_{\text{факт}} = 2.56$ соответственно при $t_{05} = 2.00$. Внесение подстилки из более дальнего источника (ЛП Балтымский) не повлияло на улучшение изучаемых биометрических характеристик сосны.

Местный образец подстилки (ЛП Березовский) значительно улучшил условия роста сеянцев в случае добавления раундапа — достоверность различия по показателям высоты и диаметра стволика с контрольным вариантом составила $t_{\text{факт}} = 7.87$ и $t_{\text{факт}} = 5.12$ соответственно при $t_{05} = 2.00$. Однако в варианте без внесения раундапа добавление этого субстрата значительно ухудшило условия роста сеянцев, что выразилось в достоверном уменьшении высоты сеянцев ($t_{\text{факт}} = 3.88$ при $t_{05} = 2.00$). Стоит заметить, что характер изменения биометрических показателей сеянцев в какой-то степени соответствовал характеру распределения сеянцев по фенотипическим группам, приведенному в табл. 1.

В целом можно сделать заключение, что лесная подстилка из Березовского р-на показала свою эффективность как способ биоремедиации почвы в обоих лесных питомниках. Вероятно, что добавление раундапа приводило к росту его минерализации микробами, а также образование растительных остатков вследствие внесения пестицида делало их источниками питания для внесенного микробоценоза. Такой эффект отмечен ранее в литературе [17–19]. Можно предположить, что трансформирующая деятельность микробов в составе этой подстилки снижало количество пестицида, тем самым увеличивая выход сеянцев нормального фенотипа. В то же время в отсутствии свежего внесения раундапа количество сеянцев с нормальным фенотипом и стандартными размерами снижалось в Березовском питомнике. Вероятная причина такого эффекта обусловлена механическим составом почвы в этом агроценозе — среднесуглинистая почва обладает более выраженными адсорбционными свойствами по сравнению с более легкой по гранулометрическому составу почвой в Балтымском питомнике. Многолетнее использование пестицидов приводит к тому, что почва агроценозов загрязнена стойкими органическими соединениями. Раундап, который в последние десятилетия активно

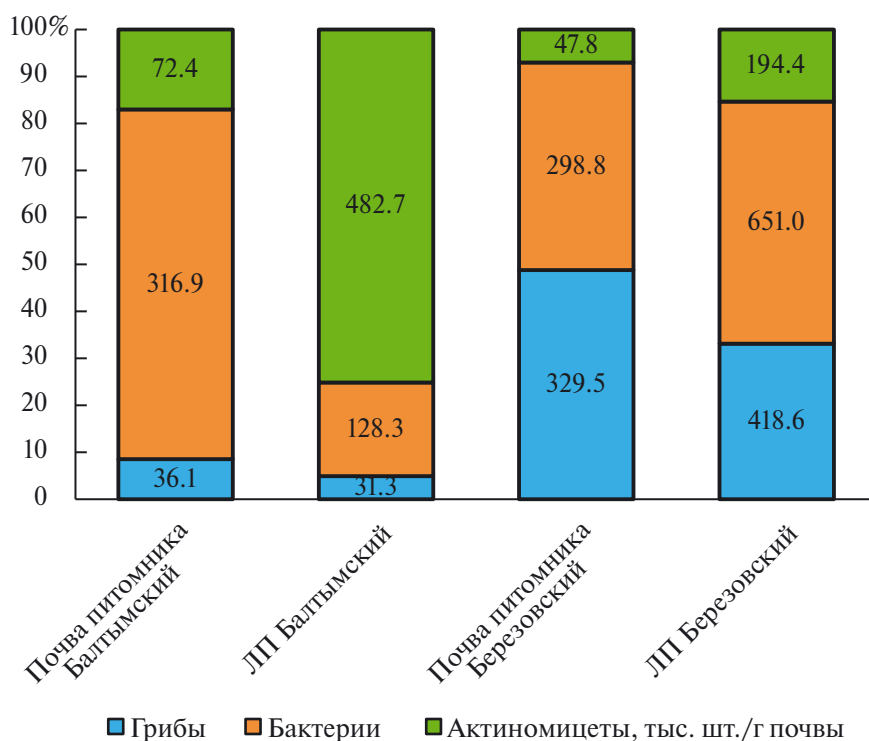


Рис. 1. Соотношение основных групп и количество микроорганизмов в исходных лесных субстратах и почве лесного питомника перед началом эксперимента.

применяли в питомниках области, имеет чрезвычайно высокую адсорбционную способность [20] и, предположительно, постоянно находится в связанном состоянии в составе почвенных агрегатов. Внесение микробоценоза с высокой трансформирующей активностью в отсутствие дополнительных источников питания будет разрушать почвенные частицы и высвобождать пестициды и их остатки, делая их доступными для растений. Трансформирующая активность лесной подстилки из Балтымского р-на оказалась не такой высокой, как в другом образце. Вероятно, это связано с иным соотношением и количеством основных таксономических групп микроорганизмов в составе лесной подстилки, что будет рассмотрено далее.

Общее количество микроорганизмов в лесных подстилках перед добавлением их в почву опытных вариантов было больше, чем в исходной почве агроценозов: ЛП Балтымский – превышение количества микроорганизмов почти на 60, ЛП Березовский – на 85% (рис. 1.)

Последнее, вероятно, указывало на слабую окультуренность пахотного слоя почвы лесных питомников, поскольку показано, что в верхнем слое дерново-подзолистой почвы в лесных насаждениях содержится меньше микроорганизмов, чем в ее окультуренном варианте [21]. Лесной субстрат,

полученный из Березовского р-на, отличался более высоким содержанием микробных клеток, чем из Балтымского. Изучение соотношения между таксономическими группами микроорганизмов показало, что почва и лесной субстрат из Балтымского р-на резко различались между собой – в лесном образце преобладали актиномицеты, и только небольшая часть приходилась на грибы и бактерии. В образце из питомника, отобранном перед началом эксперимента, преобладала бактериальная составляющая. Соотношение групп микроорганизмов в подстилке и почве питомника из Березовского р-на было похожим – преобладали грибы (в почве питомника их было на 10% больше, чем в лесном субстрате) и бактерии, и только небольшую часть составляли актиномицеты.

Учет количества микроорганизмов в образцах почвы, отобранных в опытных площадках по завершению вегетационного сезона 1-го года роста сеянцев, показал, что соотношение грибов, бактерий и актиномицетов в вариантах, где был внесен лесной микробоценоз и где такового не было, носило схожий характер. В пахотной почве Балтымского питомника преобладали бактерии, в почве Березовского – бактерии и грибы были примерно в одинаковых пропорциях. Актиномицеты составляли $\approx 10\%$ от общего количества микробов как в первом, так и во втором питомнике. Количество

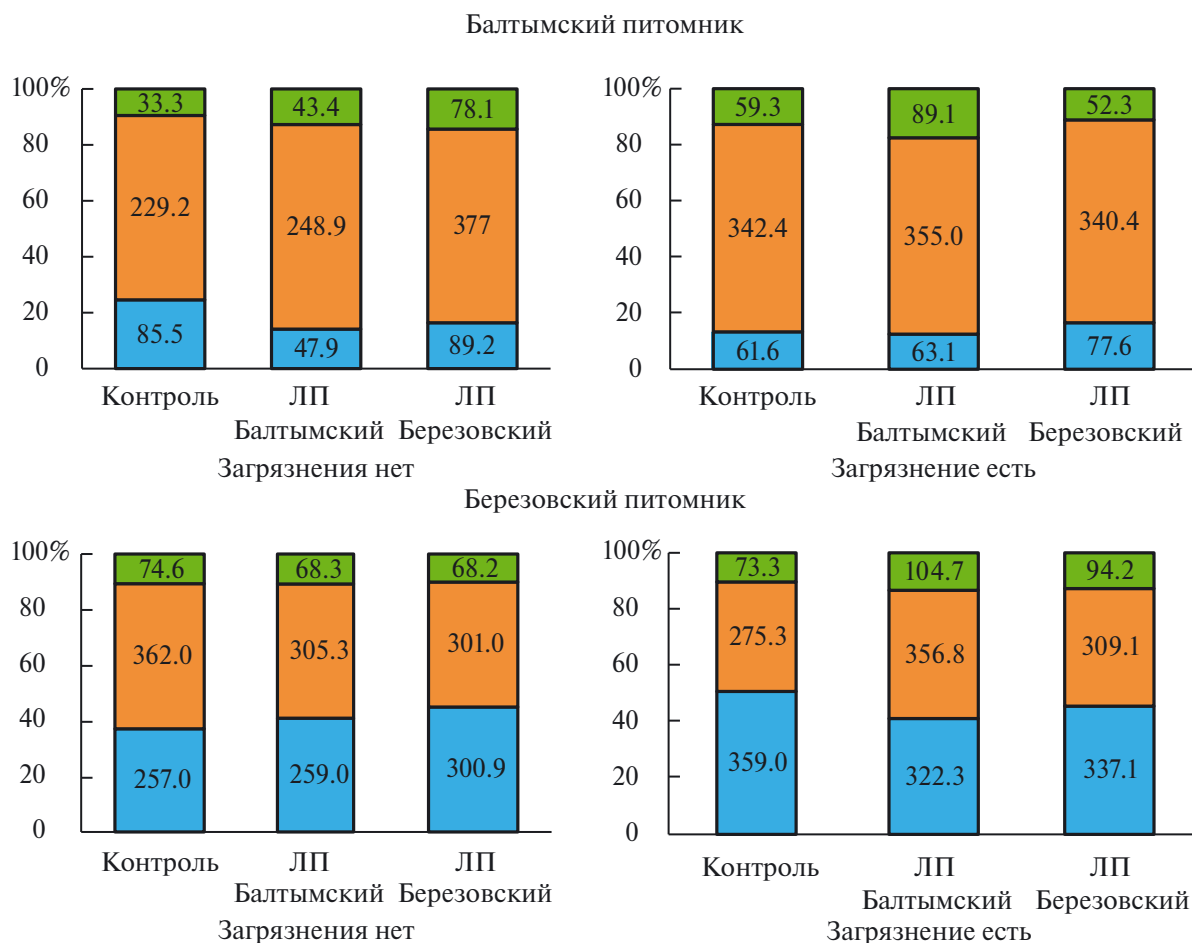


Рис. 2. Соотношение основных групп и количество микроорганизмов в почве лесных питомников в конце первого вегетационного сезона. (■ — грибы, ■ — бактерии, ■ — актиномицеты, тыс. шт./г почвы).

микробов в Березовском питомнике было больше, чем в Балтымском (рис. 2).

Наличие пестицида в почве не влияло на соотношение таксономических групп микроорганизмов, но вызвало увеличение числа микробных организмов почти во всех вариантах в обоих питомниках. Последнее согласовалось с фактами увеличения численности микроорганизмов и их метаболической активности как ответной реакции микробоценоза на внесение пестицидов. Предполагали, что это связано с поступлением отмерших растительных остатков в результате химической обработки сорняков, которые, в свою очередь, создали кормовую базу для микроорганизмов.

Внесение лесной подстилки из Березовского р-на привело к увеличению общего количества микроорганизмов на 56% при ее использовании в Балтымском питомнике. В присутствии раундапа небольшое увеличение числа колоний отмечено при внесении местной подстилки — на 11%

от контроля. В свою очередь, в Березовском питомнике внесение в почву лесного субстрата из отдаленного района не оказало влияния на этот показатель в незагрязненных вариантах, а при загрязнении отмечено также небольшое увеличение количества микробов (на 11%). При использовании местной подстилки различий данного показателя к концу вегетационного сезона почти не наблюдали.

Анализируя динамику изменения соотношения основных таксономических групп в пахотном слое почвы лесного агроценоза, можно прийти к выводу, что достаточно одного летнего периода, чтобы сообщество микроорганизмов приобрело сбалансированный характер, соответствующий условиям данного местообитания. Соответственно, можно предположить, что при внесении в агропочву лесных микроорганизмов, пик их трансформирующей активности и сопровождающая ее интенсификация процессов разложения пестицидного загрязнения, вероятнее всего, будет наблюдаться сразу

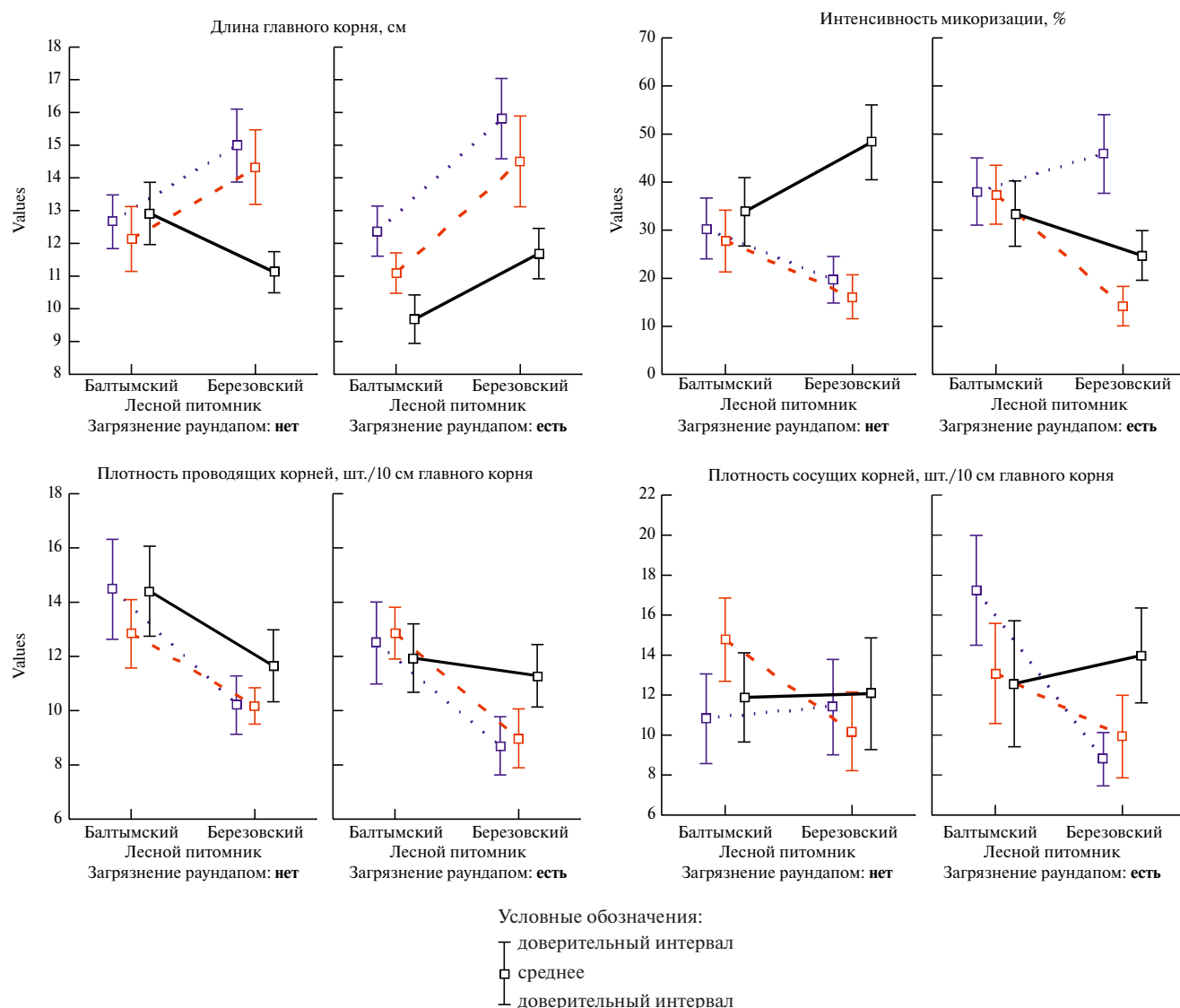


Рис. 3. Характеристика корневой системы 1-летних сеянцев сосны (— — контроль, — ЛП Балт. ский, --- — ЛП Березовский).

после переноса микробиоценоза. В итоге, можно наблюдать рост количества сеянцев сосны с нормальным фенотипом.

Помимо биометрических характеристик, на основании которых определяют стандартность посадочного материала сосны, т.е. высота стволика и его диаметр, необходимо обратить внимание на развитие корневой системы сеянцев. Эта часть растения в большей степени имеет функциональное значение, и ее состояние влияет как на ростовые параметры, так и на степень жизнеспособности сосны: сеянцы с более разветвленными корнями показывают способность к быстрой инициации новых корневых окончаний, что делает их более приспособленными к пересаживанию [22].

Статистическую оценку влияния внесенного в пахотную почву мелиоранта на параметры корневой системы сеянцев проводили методом дисперсионного анализа. Рассматривали влияние фактора “вариант” (контроль или внесение лесной подстилки). Группирующими переменными были “лесной питомник” (Березовский, Балт. ский), “загрязнение раундапом” (есть, нет). Характеристики, описывающие развитие подземной части сеянцев, представлены на рис. 3 и 4 в виде средних показателей и их доверительных интервалов. Такое графическое изображение позволяет судить о достоверности различий средних с уверенностью в 95% случаев, если границы интервалов не перекрываются.

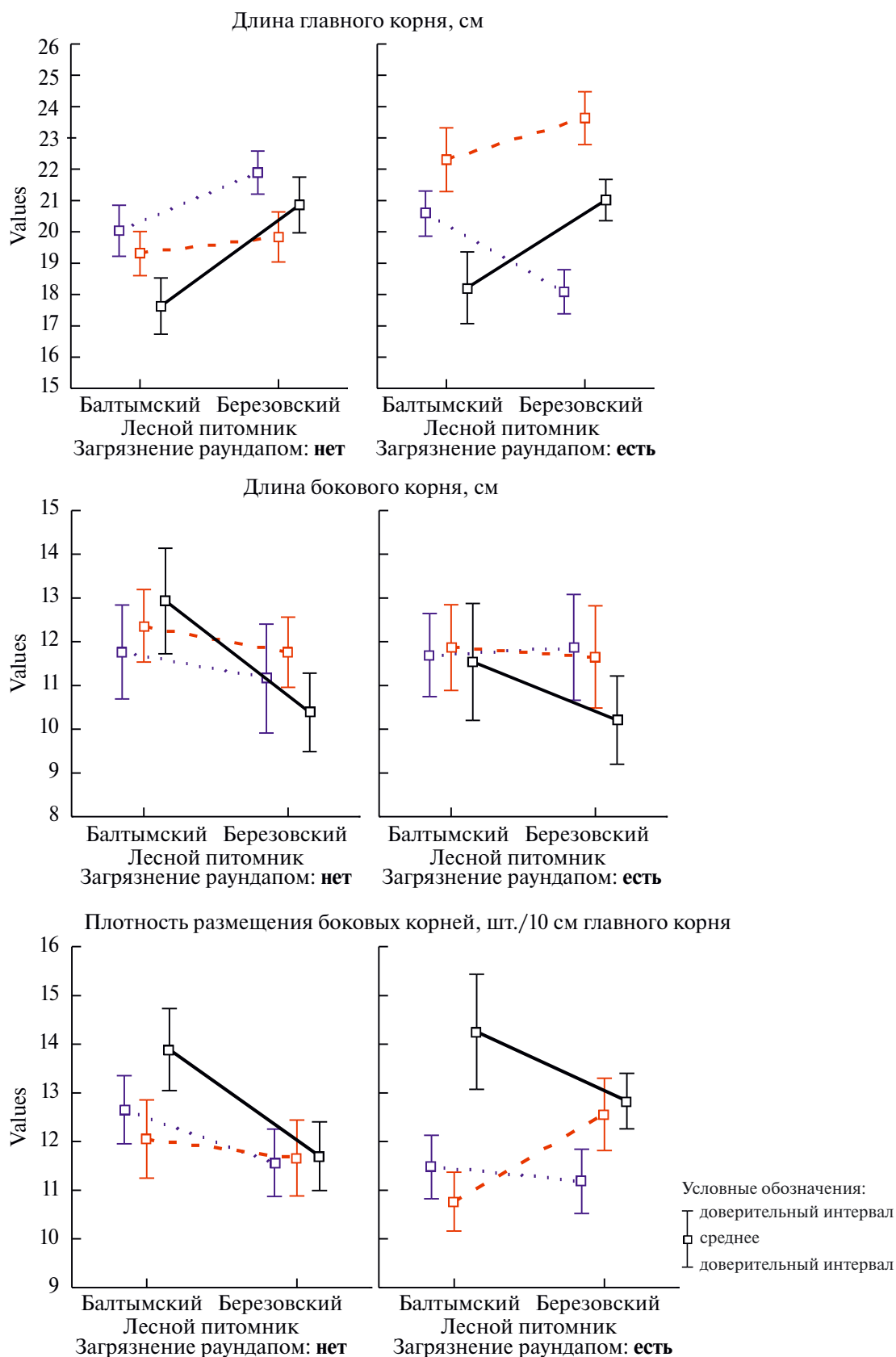


Рис. 4. Характеристика корневой системы 2-летних сеянцев сосны (— — контроль, — ЛП Балтымский, --- — ЛП Березовский).

Показано, что у однолетних сеянцев сосны в Балтымском питомнике внесение лесной подстилки вне зависимости от источника ее отбора не повлияло на длину главного корня, в то время как в Березовском питомнике лесной мелиорант привел к удлинению корневой системы. При наличии пестицидного загрязнения главный корень в вариантах с подстилками был значительно длиннее, чем у контрольных сеянцев в обоих агроценозах. Добавление подстилки снизило плотность проводящих и сосущих корней в Березовском питомнике, особенно под действием загрязнения. Вероятно, это могло быть связано с более интенсивным ростом главного корня в данных почвенных условиях.

Внесение лесного микробоценоза в почву почти не повлияло на интенсивность микоризации корней сеянцев в Балтымском питомнике. В то же время этот показатель достоверно снижался в условиях более тяжелой по гранулометрическому составу почвы другого агроценоза. Исключение составил вариант с внесением ЛП Балтымский в условиях загрязнения. Возможно, одной из причин явилось то, что в этом случае микробоценоз активно перерабатывал загрязнение, и в данной опытной площадке было отмечено более высокое содержание микробных колоний к концу вегетационного сезона.

Тенденция к удлинению главного корня продолжилась на 2-й год роста сеянцев. В Балтымском питомнике в вариантах с добавлением лесного субстрата этот показатель превышал контроль как в отсутствии загрязнения, так и при его наличии. В Березовском питомнике внесение местной подстилки привело к существенному увеличению длины главного корня. Кроме того, в этом же опытном участке был более выражен рост боковых корней в вариантах с подстилкой, однако, различия не были достоверными. В Балтымском питомнике плотность боковых корней была снижена у сеянцев в вариантах с лесной подстилкой независимо от источника ее происхождения. В Березовском питомнике различий по показателю плотности размещения боковых корней между вариантами эксперимента не наблюдали.

Таким образом, большинство показателей корневой системы сеянцев, росших под воздействием лесной подстилки, а также тенденции к их изменению относительно контроля были схожими независимо от того, с какого расстояния от места применения был получен лесной материал. Отмечено лишь, что в варианте с внесением микробоценоза из более удаленного от питомника источника в среднесуглинистую почву с более интенсивным пестицидным загрязнением существенно увеличивалась степень микоризации корней однолетних сеянцев.

В целом, обобщая приведенные выше результаты влияния лесной подстилки на состояние

сеянцев, можно сделать заключение о благоприятном влиянии данного способа мелиорации на сосну обыкновенную, особенно в условиях пестицидного загрязнения почвы. В то же время, в силу многих очевидных причин лесную подстилку нельзя применять в промышленных масштабах — это неотъемлемая часть лесного биогеоценоза, при значительном изъятии которой, он не сможет нормально функционировать. Для целей почвоулучшения лесная подстилка может быть получена при катастрофическом нарушении древостоя с последующим удалением верхнего почвенного слоя, которое происходит почти ежегодно во многих случаях: при расширении городских территорий, строительстве промышленных и гражданских объектов, вскрышных работах с последующей организацией карьеров, прокладке и расширении магистралей (шоссейных и железнодорожных дорог), линий электропередач и др. Площади таких земель составляют сотни и даже тысячи га. При этом объем верхнего слоя почвы, включая лесную подстилку, достигает только на одном объекте сотни кубических метров, поэтому небольшая часть верхнего, наиболее гумусированного слоя почвы, может быть изъята для разового применения в питомниках на загрязненных посевных полях.

К тому же это сложный природный субстрат, обладающий весьма разнообразными свойствами и содержанием — существуют работы, где указано, что это непредсказуемый материал и при его применении даже возможен занос на питомник возбудителей заболеваний, в том числе шютте сосны [23]. Однако ранее в нашей работе подтвердили, что лесная подстилка не является источником распространения этого заболевания [24]. Данных по использованию лесной подстилки для улучшения роста сеянцев в литературе немного. Ранее было показано, что внесение подстилки стимулировало рост корней сосны и обогащало почву полезной микрофлорой, необходимой для формирования микоризы с оптимальной структурой [25]. Целесообразность применения этого природного мелиоранта для выращивания различных пород деревьев также подтверждена в других исследованиях [26, 27]. В нашем случае также изучали внесение природного микробоценоза в почву лесного питомника, и был достигнут положительный результат по ряду показателей. Однако исследований внесения лесного мелиоранта в условиях пестицидного загрязнения почвы пока не проводили, и нет данных о том, как меняется микробное сообщество лесной подстилки при переносе его в пашню лесного питомника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нами продемонстрировано, что лесная подстилка из смешанного по породному составу насаждения может служить основой для экологически безопасного способа биоремедиации почвы лесных питомников при пестицидном загрязнении. При попадании в агропочву лесных микроорганизмов пик их трансформирующей активности и сопровождающую ее интенсификацию процессов разложения пестицидного загрязнения, вероятнее всего, можно наблюдать практически сразу после интродукции микробоценоза. Как следствие, при этом будет снижаться уровень пестицидного загрязнения, возможен рост количества семян сосны с нормальным фенотипом. Обнаруженный эффект имел место вне зависимости от того, с какого расстояния от места применения был получен лесной субстрат. Подтверждено, что достаточно одного летнего периода, чтобы соотношение основных таксономических групп внесенных микроорганизмов приобрело сбалансированный характер, соответствующий местному микробоценозу лесного питомника. Изучение корневой системы семян, росших под воздействием лесной подстилки, также показало, что тенденции к их изменению относительно контроля в основном были схожими независимо от того, с какого расстояния от места применения был получен лесной материал. Отмечено, что в варианте с внесением микробоценоза из более удаленного от питомника источника в среднесуглинистую почву с более интенсивным пестицидным загрязнением существенно увеличивалась степень микоризации корней однолетних семян.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Родин А.З., Попова Н.Я., Стукушин М.Н., Лободюк В.Д., Кандыба Е.В.* Биологический способ реабилитации почв, подвергающихся интенсивной химизации в лесных питомниках // Лесн. вестн. 1998. № 3. С. 104–107.
2. *Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К.* Модификационная изменчивость сосны обыкновенной в условиях пестицидного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 74 с.
3. *Фомина Н.В., Демиденко Г.А., Сорокин Н.Д.* Эколого-микробиологический мониторинг почвы лесного питомника Красноярского края // Вестн. КрасГАУ. 2006. № 10. С. 146–152.
4. *Gevao B., Semple K.T., Jones K.C.* Bound pesticide residues in soil: a review // Environ. Pollut. 2000. V. 108. P. 3–14.
5. *Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К.* Критерии оценки посадочного материала сосны обыкновенной // Лесн. хоз-во. 2009. № 2. С. 33–35.
6. *Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К.* Физиолого-биохимические отклики сосны на действие пестицидов // Вестн. Алтай. ГАУ. 2011. № 11(85). С. 36–39.
7. *Ананьева Н.Д.* Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
8. *Лунев М.И.* Пестициды и охрана агрофитоценозов. М.: Колос, 1992. 269 с.
9. *Karpouzas D., Singh B.* Microbial degradation of organophosphorus xenobiotics: Metabolic pathways and molecular basis // Adv. Microb. Physiol. 2006. V. 51. P. 119–185.
10. *Krzyśko-Lupicka T., Strof W., Kubś K., Skorupa M., Wieczorek P., Lejczak B., Kafarski P.* The ability of soil-borne fungi to degrade organophosphonate
11. Carbon-to-phosphorus bonds // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1997. № 48. P. 549–552.
12. *Шушкова Т.В., Васильева Г.К., Ермакова И.Т., Леонтьевский А.А.* Сорбция глифосата и его микробная деградация в почвенных суспензиях // Прикл. биохим. и микробиол. 2009. Т. 45. № 6. С. 664–669.
13. *Круглов Ю.В., Пароменская Л.Н.* Микробиологические факторы биоремедиации почвы, загрязненной пестицидом прометрином // Сел.-хоз. биол. 2011. № 3. С. 76–80.
14. *Соляникова И.П., Головлева Л.А.* Физиолого-биохимические свойства актинобактерий как основа их высокой биодеградативной активности (обзор) // Прикл. биохим. и микробиол. 2015. Т. 51. № 2. С. 132–139.
15. *Фрейберг И.А., Стеценко С.К.* Биологические параметры очистки почв от пестицидной токсичности // Экол. и пром-ть России. 2013. № 2. С. 40–42.
16. *Разумовская З.Г., Чижик Г.Я., Громов Б.В.* Лабораторные занятия по почвенной микробиологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1960. 184 с.
17. *Веселкин Д.В.* Функциональное значение микоризообразования у однолетних семян сосны и ели в лесных питомниках // Вестн. ОГУ. 2006. № 4. С. 12–18.
18. *Nourouzi M.M., Chuah T.G., Choong T.S.Y., Lim C.J.* Glyphosate utilization as the source of carbon: isolation and identification of new bacteria // E-J. Chem. 2011. № 8(4). P. 1582–1587.
19. *Горленко М.В., Якименко О.С., Голиченков М.В., Костина Н.В.* Функциональное биоразнообразие почвенных микробных сообществ при внесении МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2012. № 2. С. 20–27.

20. Заргарян Н.Ю., Кекало А.Ю., Немченко В.В. Влияние предпосевного применения гербицидов на почвенную микрофлору // *Агрохимия*. 2021. № 10. С. 62–67.
21. Жариков М.Г., Спиридонов Ю.Я. Изучение влияния глифосатсодержащих гербицидов на агроценоз // *Агрохимия*. 2008. № 8. С. 81–89.
22. Благовещенская Г.Г., Духанина Т.М. Микробные сообщества почв и их функционирование в условиях применения средств химизации // *Агрохимия*. 2004. № 2. С. 80–88.
23. Davis A.S., Jacobs D.F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance // *New Forests*. 2005. V. 30(2–3). P. 295–311.
24. Балков В.В., Бойко Т.А., Жебрыков В.Н., Малеев К.И., Разин Г.С., Романов А.В., Чукунов М.Л. Проблемы лесовосстановления Прикамья. СПб.: Наука, 2009. 146 с.
25. Стеценко С.К., Андреева Е.М., Терехов Г.Г. К вопросу о фитопатологической безопасности использования лесной подстилки для борьбы с пестицидным загрязнением почвы в лесопитомнике // *Микол. и фитопатол.* 2019. Т. 53(2). С. 124–130.
26. Rudawska M., Leski T., Aučina A., Karliński L., Skirdalia A., Ryliskis D. Forest litter amendment during nursery stage influence field performance and ectomycorrhizal community of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings outplanted on four different sites // *Forest Ecol. Manag.* 2017. V. 395. P. 104–114.
27. Brearley F.Q., Press M.C., Scholes J.D. Nutrients obtained from leaf litter can improve the growth of dipterocarp seedlings // *New Phytol.* 2003. V. 160(1). P. 101–110.
28. Aučina A., Rudawska M., Leski T., Skirdaila A., Pašakinskiene I., Riepšas E. Forest litter as the mulch improving growth and ectomycorrhizal diversity of bare-root Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings // *IForest*. 2015. V. 8. P. 394–400.

Transformation of the Forest Litter Microbial Community Introduced in to the Agrocenosis Soil

S. K. Stetsenko^{a, #}, E. M. Andreeva^a, G. G. Terekhov^a

^a*Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
ul. 8 Marta 202, Ekaterinburg 620144, Russia*

[#]*E-mail: stets_s@mail.ru*

The long-term use of pesticides in the forest nurseries of the Sverdlovsk region has led to a decrease in the quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) planting material. As a way to reduce pesticide stress and create optimal conditions suitable for the conifers growth, a once use of forest litter (20 kg/m²) was proposed. This substrate is easier to obtain from a plantation near to the forest agrocenosis. However, by something cases, forest litter may be obtained from locations that are geographically far from the forest nursery. The article presents the results of a study the possibility of applying forest litter obtained from places located at different distances from the forest nursery in the bioremediation of pesticide-contaminated soil and improving the quality of Scots pine planting material. In the field experiment, samples of the forest litter were taken near two forest nurseries and introduced into the soil of the experimental plots before sowing pine. Part of the plots contained roundup (3 l a.s./ha), the other remained without treatment. In each nursery, plots were created containing both litter from a nearby stand and from a more remote forest area. It was found that the peak of the transforming activity of the microbiocenosis in the introduced forest litter and decreasing of the pesticide contamination, most likely, will be observed in the first stages of the microbiocenosis introduction. The observed effect takes place regardless of the distance from the application site where the forest substrate was obtained.

Keywords: pine, agrocenosis, forest nursery, microbiocenosis, roundup, bioremediation.

УДК 631.46:632.122.2:632.95

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСТИЦИДАМИ

© 2024 г. С. И. Наджафова^{1,*}, Ф. Ш. Кейсерухская¹¹Институт микробиологии Министерства науки и образования Азербайджана
AZ 1004 Баку, ул. М. Мушвига, 103, Республика Азербайджан

*E-mail: nadjafovas@yahoo.com

Приведены результаты исследования численности и ферментативной активности микроорганизмов в почвах р-на Зардоб (Азербайджан), с территории базы по хранению пестицидов. Выявлено, что почвы базы загрязнены в очень сильной степени, и содержание пестицидов (в том числе и ДДТ) превышали ПДК в десятки–сотни раз. Микробиологические исследования почвенных образцов показали, что в отличие от чистой почвы во всех образцах почв, загрязненных пестицидами, численность микроорганизмов и ферментативная активность снижались, что свидетельствовало об отрицательном воздействии загрязнения почв пестицидами на структуру и активность микробиоценоза и являлось показателем ограниченного ассимиляционного потенциала и низкой самоочищающей способности этих почв по отношению к поллютантам.

Ключевые слова: почвы, пестициды, ПДК, микроорганизмы, ферментативная активность почвы.

DOI: 10.31857/S0002188124030086, **EDN:** DNMYMR

ВВЕДЕНИЕ

В процессе сельскохозяйственного производства одной из глобальных экологических проблем является негативное воздействие пестицидов на окружающую среду и здоровье людей. В Советский период в Азербайджане сельское хозяйство относилось к ключевому сектору экономики республики и являлось развитой инфраструктурой. Сельское хозяйство относилось к ключевому сектору экономики Азербайджанской Республики. Так как почвенно-климатические условия в Азербайджане благоприятны для развития вредителей и болезней сельскохозяйственных растений, республика по удельному расходу ядохимикатов на площадь сельскохозяйственных земель занимала одно из ведущих мест. Только в 1990 г. в республике было использовано 35 тыс. т различных ядохимикатов и более 400 тыс. т минеральных удобрений [1], при среднесоюзном уровне 1.5 кг в Азербайджане использовали 14 кг ядохимикатов/га [2].

Вместе с тем к обычным проблемам использования химических средств защиты растений добавились другие проблемы, которые были связаны в первую очередь с нарушениями санитарных норм и правил при транспортировке, хранении и применении, а также ликвидации пестицидов [3].

Грубое нарушения правил применения, транспортировки, хранения, а также отсталая технология

орошения и промывки почв приводила к тому, что значительное количество их, вымываясь, попадала в реки и дренажные коллекторы, а оттуда – в море [4]. Остатки устаревших и запрещенных к использованию ядохимикатов продолжают создавать экологическую угрозу как природным ландшафтам, так и здоровью населения. В связи с этим проблема загрязнения пестицидами почв в стране представляется очень актуальной и насущной и требует проведения системных исследований в области изучения почвенного покрова страны и его способности самоочищаться от ядохимикатов.

Цель работы – изучение численности и ферментативной активности микроорганизмов в почвах, загрязненных пестицидами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были образцы сероземных почв с территории базы по хранению пестицидов в р-не Зардоб (химический амбар бывшего “Объединения химии”). Отбор осуществляли по принципу “конверта” [5] в стерильный пакет. Всего было отобрано 12 почвенных образцов с разных горизонтов 0–20, 20–40 и 40–60 см. Контролем служил почвенный образец с территории, находящегося на расстоянии 1 км от амбара пестицидов. Численность микроорганизмов в почве,

содержащей различные концентрации пестицида, определяли методом последовательных разведений почвенной суспензии [5]. Дыхание почв определяли по интенсивности продуцирования углекислого газа [6]. Активность ферментов определяли по Хазиеву [7]. В отобранных образцах почв содержание пестицидов определяли общепринятыми методами [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех образцах почв в лабораторных условиях были определено содержание пестицидов. Общая площадь исследованной территории составляла ≈2 га. В почвенных образцах степень превышения ПДК пестицидов составляла от 2.5 до 12508 раз, при этом только в верхнем 0–20 см горизонте

превышение ПДК составляло 74–12508 раз (табл. 1).

Результаты микробиологических анализов отобранных почвенных образцов показали, что в отличие от контроля (чистой почвы) во всех образцах почв, загрязненных пестицидами, численность микроорганизмов значительно снижалась, причем общее количество их в слое 0–20 см было существенно меньше, чем в более глубоких слоях. Выявлена отрицательная зависимость между содержанием пестицидов и численностью почвенных микроорганизмов, $r = -0.79 \pm 0.15$ (табл. 2).

Исследования ферментативной активности почв, загрязненных пестицидами, показали, что в отличие от чистой фоновой почвы, в почве, загрязненной пестицидами, существенно снижалась

Таблица 1. Содержание пестицидов в почвах, отобранных с территории вблизи базы

Образец, №	Глубина, см	Общее количество пестицидов	
		мг/кг	Степень превышения ПДК
1	0–20	1250	12508
2	0–20	923	9234
3	0–20	9.7	97
4	0–20	7.4	74
5	0–40	4.7	47
6	0–40	1220	12203
7	0–40	5.4	54
8	0–40	66.6	666
9	0–60	1.2	12
10	0–60	7.0	70
11	0–60	0.5	5
12	0–60	0.25	2.5
Контроль (чистая почва)	0–20	–	–

Таблица 2. Численность микроорганизмов в почве, загрязненной пестицидами

Образец, №	Численность микроорганизмов				
	содержание пестицидов, мг/кг почвы	общее количество	общее количество сапрофитов	спорообразующие	актиномицеты
Горизонт 0–20 см					
1	1250	$3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$	1240	1440
2	923	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	1240	1440
3	9.7	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	2200	2750
4	7.4	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	2240	2790
Горизонт 40 см					
5	4.7	$6 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	2340	2870
6	1220	$3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	1242	1902
7	5.4	$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	2350	2560
8	66.6	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	1240	1760

Таблица 2. Окончание

Образец, №	содержание пестицидов, мг/кг почвы	Численность микроорганизмов			
		общее количество	общее количество сапрофитов	спорообразующие	актиномицеты
		КОЕ/г почвы			
Горизонт 60 см					
9	1.2	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^4$	1280	1430
10	7.0	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	1100	1560
11	0.5	$3 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	1940	2540
12	0.25	$4 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	2240	2990
Контроль	—	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^6$	3240	4340

Таблица 3. Ферментативная активность почв, загрязненных пестицидами

Образец, №	Содержание пестицидов, мг/кг почвы	Каталаза, $\text{KMnO}_4/\text{г}$ почвы	Инвертаза, мг глюкозы/г почвы	Уреаза, мг $\text{NH}_3/100$ г почвы	Дегидрогеназа, мг ТТФ/10 г почвы
Горизонт 20 см					
1	1250	0.35 ± 0.03	16 ± 0.03	1.4 ± 0.03	4.8 ± 0.03
2	923	0.45 ± 0.03	19 ± 0.03	1.6 ± 0.03	4.4 ± 0.03
3	9.7	0.46 ± 0.03	23 ± 0.03	1.8 ± 0.03	5.1 ± 0.03
4	7.4	0.45 ± 0.03	24 ± 0.03	1.9 ± 0.03	5.4 ± 0.03
Горизонт 40 см					
5	4.7	0.47 ± 0.03	29 ± 0.03	1.5 ± 0.03	5.5 ± 0.03
6	1220	0.34 ± 0.03	18 ± 0.03	1.4 ± 0.03	4.2 ± 0.03
7	5.4	0.46 ± 0.03	21 ± 0.03	2.2 ± 0.03	5.7 ± 0.03
8	66.6	0.40 ± 0.03	21 ± 0.03	1.5 ± 0.03	5.0 ± 0.03
Горизонт 60 см					
9	1.2	0.49 ± 0.03	24 ± 0.03	2.1 ± 0.03	7.0 ± 0.03
10	7.0	0.37 ± 0.03	21 ± 0.03	1.4 ± 0.03	5.8 ± 0.03
11	0.5	0.52 ± 0.03	23 ± 0.03	2.1 ± 0.03	8.5 ± 0.03
12	0.25	0.55 ± 0.03	24 ± 0.03	2.3 ± 0.03	8.8 ± 0.03
Контроль	—	0.65 ± 0.03	29 ± 0.03	2.9 ± 0.03	9.6 ± 0.03

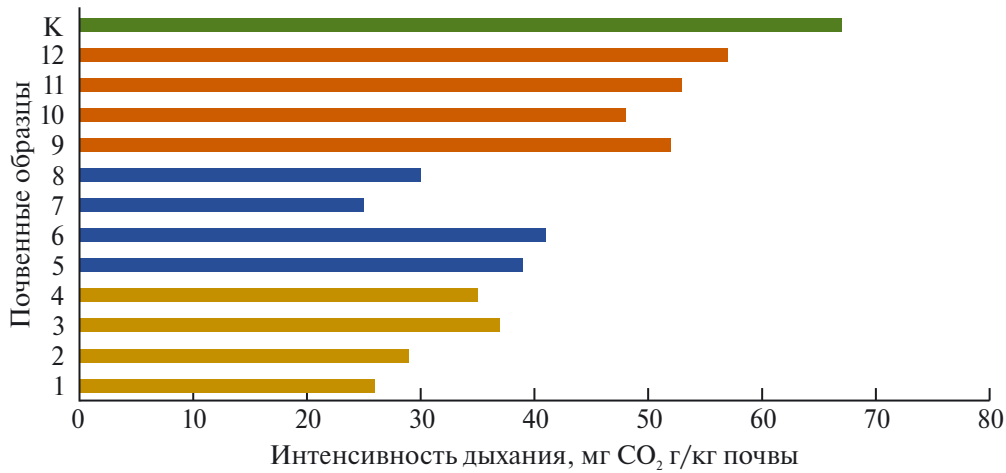


Рис. 1. Интенсивность дыхания образцов, отобранных из разных горизонтов почвы, загрязненной пестицидами.

активность ферментов — каталазы, инвертазы, уреазы и дегидрогеназы (табл. 3).

В соответствие с этим также в 2.0–2.5 раза подавлялась и дыхательная активность почв (рис. 1).

Таким образом, в почвах, загрязненных пестицидами, в отличие от фоновых чистых почв, биогенность почв подавлялась, что свидетельствовало об отрицательном воздействии загрязнения почв пестицидами на структуру и активность микробиоценоза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что численность микроорганизмов и интенсивность микробиологических процессов в почве, загрязненной пестицидами, значительно меньше, чем в чистых почвах, что указывало на очень ограниченный ассимиляционный потенциал и низкую способность этих почв к самоочищению от органических поллютантов. Это подтверждено и снижением дыхательной активности почв в 2.0–2.5 раза.

Таким образом, за последние десятилетия природные экосистемы Азербайджана подвергались и подвергаются мощному антропогенному давлению, что приводит к изменениям качества как их компонентов — почв, вод, атмосферного воздуха, которые являются взаимосвязанной и взаимозависимой биосистемой, обладают определенным ассимиляционным потенциалом в отношении загрязнителей окружающей среды, так и экосистемы в целом. Вместе с тем необходимо особо подчеркнуть, что исследования в отношении ассимиляционной емкости экосистем страны и их компонентов (почвенного покрова, водных экосистем) ранее не проводили.

Из вышесказанного следует, что необходимо сосредоточить усилия на решении важнейшей научной задачи — изучении основных закономерностей эволюции ландшафтов страны под воздействием антропогенных воздействий с целью рационального использования их ресурсов, совершенствования методов прогнозирования устойчивости, повышения эффективности мероприятий в области охраны окружающей среды. Эти исследования, прежде всего, необходимы для того, чтобы в условиях повышения темпов экономического развития страны оценить реальную ассимиляционную емкость почвенного покрова разных биоклиматических зон в отношении органических загрязнений с целью разработки научной основы путей перспективного управления этими ландшафтами в рамках концепции “Устойчивого развития”.

В Азербайджане составлен “Паспорт почв” 26-ти генетических типов, в которых отражены

экобиоморфологические показатели почв различных почвенно-климатических зон страны [9]. Однако в этих паспортах отсутствуют показатели устойчивости различных генетических типов почв в случае их загрязнения органическими поллютантами, которые могли бы дать определенную информацию об их ассимиляционном потенциале, и в соответствие с этим ранжировать почвы различных ландшафтных зон по их самоочищающей способности. Так как изучение буферности всех генетических типов почв, выявление их ассимиляционной емкости по отношению к различным органическим поллютантам, в том числе и пестицидам, которые характеризуются разной степенью полураспада в природных средах, позволит классифицировать эти почвы по их самоочищающей способности. Все это подготовит научную основу для безопасного применения пестицидов для каждого типа почв, установку уровня ПДК для каждого типа пестицида и степень их опасности для людей, позволит качественно обогатить “Паспорта почв” [10, 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кейсерухская Ф.Ш. Влияние пестицидов на биогенность почв // Бюл. науки и практ. 2022. Т. 8. № 9. С. 171–177.
<https://doi.org/10.33619/2414-2948/82/24>
2. Наджафова С.И., Кейсерухская Ф.Ш., Исмаилов Н.М. Экологическое земледелие в Азербайджане через призму биогенности и ассимиляционного потенциала почв биоклиматических ландшафтных зон страны // Sci. Rise. 2018. Т. 7. С. 26–30.
<https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.140136>
3. Наджафова С.И., Исмаилов Н.М., Абдурахманов Ф.Ю. Экологические последствия использования в земледелии Азербайджана химических препаратов // Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. “Современное экологическое состояние Приаралья, перспективы решения проблем”. Кызылорда, 2011. С. 184–187.
4. Кейсерухская Ф.Ш., Наджафова С.И., Агаева К.Т. Использование пестицидов и их экологические последствия для ландшафтов Азербайджана // Международ. научн. экол. конф. с участием МГУ им. М.В. Ломоносова “Отходы, причины их образования и перспективы использования”. Краснодар, 2019. С. 195–198.
5. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.
6. Звягинцев Д.Г., Асеева И.Б., Бабьева И.П., Мирчинк Т.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
7. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
<https://library-full.nadzor-info.ru/doc/35410>

8. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Наджафова С.И. Почвы Азербайджанской Республики. М.: Lambert, 2019, 275 с.
9. Ismaylov N.M., Nadzhafova S.I., Keyserukhsкая F., Gasymova A.S. Soil-assimilation potential as a component of the soil passport and the assimilation potential of landscapes // J. Arid Ecosyst. 2020. V. 10. № 1. P. 58–62.
<https://doi.org/10.1134/S2079096120010072>
10. Babayev M.P., Ismailov N.M., Nadzhafova S.I., Keyserukhsкая F. Sh., Orudzheva N.I. Approaches to determining maximum permissible concentrations of oil and oil products for different soil types on the basis of the assimilation potential (by the example of Azerbaijan soils) // Euras. Soil Sci. 2020. V. 53. № 11. P. 1629–1634.
<https://doi.org/10.1134/S1064229320110046>

Investigation of the Number and Enzymatic Activity of Microorganisms in Soils Contaminated with Pesticides

S. I. Nadjafova^{a, #}, F. S. Keyseruxskaya^a

^a*Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
M. Mushviq str. 103, Baku AZ 1004, Azerbaijan*

[#]*E-mail: nadjafovas@yahoo.com*

The results of a study of the number and enzymatic activity of microorganisms in the soils of the Zardob district (Azerbaijan), from the territory of the pesticide storage base, are presented. It was revealed that the soils of the base were polluted to a very strong extent, and the content of pesticides (including DDT) exceeded the maximum permissible concentration (MPC) by tens to hundreds of times. Microbiological studies of soil samples showed that, unlike pure soil, in all soil samples contaminated with pesticides, the number of microorganisms and enzymatic activity decreased, which indicated the negative impact of soil contamination with pesticides on the structure and activity of microbiocenosis and was an indicator of limited assimilation potential and low self-cleaning ability of these soils in relation to pollutants.

Keywords: soils, pesticides, MPC, microorganisms, enzymatic activity of the soil.

УДК 631.171:633.51

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МОДУЛЬНОГО ТИПА И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ АНАЛИЗЕ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР

© 2024 г. Д. Р. Аветисян*

Донской государственный аграрный университет
346493 Ростовская обл., Октябрьский р-н, п. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24, Россия

*E-mail: Daviondpainter@mail.ru

Исследовали возможности применения искусственного интеллекта в сельскохозяйственном секторе, в частности оптимизацию анализа фаз вегетации лубяных культур. Реализация данной задачи была наиболее эффективна в рамках традиционного механизма изучения растений в эталонные сроки их жизнедеятельности и посредством интеграции аппаратно-программных комплексов. Они включают в себя клиентскую часть, состоящую из беспилотного летательного аппарата (вертолетного, самолетного либо комбинированного типа), модулей фото-видеофиксации и устройства передачи значимых данных, а также серверную часть, включающую в себя сервер, в котором функционирует обученная под конкретные задачи нейронная сеть сверточного типа и база данных, в которой производится сегментация сведений о исследуемых объектах и их анализируемых признаков, а также принимающее устройство. Применение достижений науки и техники, в особенности информационных технологий, в государственном секторе сельского хозяйства значительно повысит эффективность решения стратегических задач в данной сфере.

Ключевые слова: лубяные культуры, анализ, нейронные сети, центры обработки данных, клиент-серверная архитектура, поддержка принятия решений, стадии вегетации, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188124030095, **EDN:** DNKFGU

ВВЕДЕНИЕ

Учитывая требования к развитию сырьевой базы для обеспечения легкой промышленности качественным сельскохозяйственным сырьем и важность лубяных культур в сельском хозяйстве, многогранность их использования, становится ясно, что анализ состояния растений на всех стадиях роста является важным и необходимым элементом процесса выращивания качественной продукции [1]. Лубяные культуры выходят на новый уровень по значимости в сельскохозяйственном секторе, как ресурсный сегмент для легкой и тяжелой промышленности. Рассматриваемый вид растений имеет высокую экономическую и экологическую ценность и являются важным источником питания и других сфер жизнедеятельности человека и общества [2–4]. Данная категория растений также играет важную роль в улучшении почвы и повышении урожайности иных культур севооборотов, что определяет их ключевую роль и необходимость в сельском хозяйстве.

Являясь одними из наиболее многоцелевых растений, рассматриваемые культуры используются в различных отраслях промышленности, включая текстильную, пищевую, медицинскую, косметическую и другие. Например, конопля богата белком, жирными кислотами, витаминами и минералами, что делает

ее ценным источником питательных веществ для человека и животных. Кроме того, конопля является одним из наиболее эффективных и экологически чистых растений для производства текстильных материалов и биотоплива. В процессе выращивания конопли не требуется большого количества удобрений и пестицидов, что позволяет сократить затраты на производство и уменьшить негативное воздействие их на окружающую среду. Цель работы – изучение применения беспилотных летательных аппаратов модульного типа и искусственного интеллекта при анализе состояния посевов лубяных культур.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПОСЕВОВ ПРИ ПОМОЩИ БПЛА

На ранних этапах селекции необходимо проанализировать тысячи селекционных образцов, а иногда и отдельные растения для изучения качества волокна, поэтому метод его определения должен быть простым, доступным, что впоследствии позволит получить достоверную информацию о характеристиках волокна. О качестве лучше судить по анатомическому строению элементарных волокон и пучков луба – чем меньше толщина стенок и меньше отверстий в элементарных волокнах и чем плотнее соединение элементарных волокон в пучках луба, тем лучше качество

волокна. Практический интерес для определения качества волокна на ранних стадиях развития растений представляет коэффициент корреляции между тонировкой волокна и гибкостью: чем выше коэффициент корреляции между этими показателями, тем лучше качество волокна. Сравнительное исследование технологической оценки качества волокна и анатомического строения стебля позволяет установить, что наиболее оптимальными являются три показателя: диаметр элементарных волокон, степень варьирования и площадь пучков волокон.

Традиционные методы анализа, такие как визуальный осмотр и оценка растений вручную, помимо трудоемкости и ненадежности на сегодняшний день не являются эффективными. В этой связи использование технологий машинного обучения при формировании нейронных сетей с целью анализа посевных площадей лубяных культур значительно повысит эффективность производства, а также оптимизирует затраты на анализ и уход за растениями. Одной из наиболее важных задач в рассматриваемом направлении выступает анализ стадий вегетации культур. Однако следует понимать, что для каждого типа растений необходим достаточный дата-сет обучающейся выборки, на основании которой и будет производиться анализ входных данных, в частности, поступающих в режиме реального времени, а после — последующее выявление детерминирующих признаков (какой период роста, “уровень здоровья культуры” и иные) для каждой стадии вегетации исследуемой культуры [5].

Одним из примеров применения машинного обучения для анализа посевных полей является использование нейронных сетей при исследовании входного потока данных-изображений, полученных при помощи системы видеонаблюдения и фиксации, интегрированных на модульной основе в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Следует отметить, что использование технологий машинного обучения и нейронных сетей для анализа посевных площадей требует высокой квалификации специалистов в области сельского хозяйства и информационных технологий. Использование БПЛА модульного типа при изучении посевных площадей лубяных культур является одним из наиболее эффективных способов сбора и анализа значимых данных.

Эталонный тип модульного БПЛА в основном состоит из следующих основных частей, таких как корпус с комплектующими, фото- или видеокамера и система передачи данных. Например, анализ изображений, полученных с помощью дронов, позволяет определять параметры роста растений, такие как высота, плотность посева, площадь листьев и т.п.

Камера, установленная на модульном БПЛА, осуществляющая фото- и/или видеофиксацию зондируемого сектора передает полезную нагрузку в режиме реального времени по соответствующему каналу

на серверную часть, оператору. В целях реализации анализа полученного потока данных используют нейронные сети сверточного типа, библиотеки которых (инструментарий) адаптированы к распознаванию объектов и их компонентов на изображении.

Процесс обучения искусственного интеллекта, направленного на точность при решении задач диагностики динамики роста культуры в каждой фазе вегетации, выявления аномалий и отклонений в рамках анализа жизнедеятельности растений, включает в себя агрегацию ненормализованного массива больших данных: описательную часть, включающую в себя от самого названия растения до всех обозначений, свойств признаков, состояний, относящихся к нему. Наличие изображений растений с разных ракурсов и масштаба, сегментированных в периоды условных, эталонных фаз роста исследуемой культуры [6, 7]. Интеллектуальная система, построенная на основе машинного обучения (искусственный интеллект), также позволит производить анализ следующих параметров: площади листьев, количества цветков, степени повреждения растения(й), наличие вредителей и болезней и т.п.

Существует множество библиотек для машинного обучения, которые позволяют анализировать видеофрагменты. Наиболее популярная — OpenCV: это библиотека с открытым исходным кодом, которая предоставляет мощные инструменты для анализа видео, используется для извлечения информации из видеофрагментов, а также обнаружения объектов, распознавания сущностей. Данная библиотека поддерживает множество языков программирования, включая высокоуровневые, объектно-ориентированные языки программирования, такие как Python, C++, Java и др.

Разработанная Google, позволяющая создавать и обучать нейронные сети — TensorFlow аналогично может быть использована для анализа видеофрагментов при помощи инструментов машинного обучения. TensorFlow поддерживает несколько языков программирования, включая Python, C++, Java, Go и др. PyTorch — еще одна библиотека машинного обучения с открытым исходным кодом, разработанная Facebook. PyTorch также предоставляет инструмент для создания и обучения нейронных сетей.

Наряду с вышеупомянутыми библиотеками, Caffe и Keras выступают в виде высокоуровневых библиотек машинного обучения, разработанные для оперативного формирования обучения моделей нейронных сетей. Keras, помимо обработки видеофрагментов и распознавание объектов, в своем функционале содержит инструментарий по сегментации и классификации поступающих данных, поддерживает языки C++, Python и др.

Все вышеперечисленные библиотеки имеют свой собственный аутентичный набор инструментов

и функций для анализа видеопотока данных. Выбор конкретной библиотеки зависит от решаемой задачи. При создании нейронной сети для анализа сельскохозяйственного сектора, а именно лубяных культур, наиболее подходящими выступают библиотеки OpenCV, PyTorch, Caffe.

После обучения системы модульный БПЛА может быть отправлен по указанным оператором координатам с заданием одного облета требуемой посевной площади, либо установив периодизацию полетов зондируемой площади.

Клиентская часть, а именно сам БПЛА с модулем фото- или видеокамеры и передающего устройства, фиксирует и передает с установленной высоты и под соответствующими углом изображения растений.

Серверная часть посредством нейронной сети проводит сравнительный анализ входного потока данных, идентифицирует объекты и элементы по соответствующим признакам, после чего присваивает идентифицированный дата-сет атрибутов каждого из фрагментов, предлагая оператору-специалисту рекомендации по уходу, зависимости по которым (наличие проблемы — предложения по ее устранению, в соответствии с установленными методиками и устанавливающими документами Министерства сельского хозяйства) были предусмотрены в рамках разработанного программного обеспечения и предварительно загружены в рамках базы данных (PostgreSQL) на серверную часть.

Преимуществом такого подхода является возможность получения данных в режиме реального времени, что позволяет быстро реагировать на изменения состояния растений и принимать своевременные меры для их защиты. Кроме того, использование БПЛА модульного типа значительно сокращает затраты на анализ посевных площадей и уменьшает количество ошибок, связанных, в частности, с уровнем компетенций.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ АНАЛИЗА ПОСЕВОВ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР

Использование БПЛА модульного типа для анализа посевных площадей лубяных культур выступает одним из наиболее эффективных и перспективных способов оптимизации производства в сельском хозяйстве. Кроме того, БПЛА обладают высокой маневренностью и мобильностью, что позволяет быстро перемещаться с одной посевной площади на другую и собирать данные в разных полях, что особенно важно для анализа больших территорий.

Кроме того, машинное обучение также можно использовать при анализе данных, полученных с помощью датчиков, установленных на полях. Датчики могут измерять параметры температуры, влажности почвы и воздуха, освещенности и т.п. Полученные данные могут быть обработаны с помощью

нейронных сетей, с последующим определением оптимального времени и способа полива, удобрения и других мероприятий, необходимых для увеличения урожайности и его качества.

Беспилотные летательные аппараты используют в качестве корпуса, к которому крепятся модули с различного рода функционалом. Ими могут выступать фото- и видеокамеры, устройства GPS-навигации, предусматривающие как установку датчиков на посевных площадях, так и ориентацию по координатам самого летательного аппарата, что позволяет собирать данные о температуре, влажности почвы, освещенности и других параметрах, которые могут влиять на рост растений. Системы GPS-навигации позволяют определять точное местоположение растений, в отношении которых требуется проведение корректировки по уходу. Газоанализаторы, позволяющие контролировать и отслеживать уровень загрязнения атмосферы по заданным оператором параметрам (в соответствии с требованиями и в зависимости от культуры). Тепловизоры, применение которых предоставляет в режиме реального времени данные об объектах (животных, людей, техники и др.), проникших или попавших на контролируемую территорию. Системы видеонаблюдения со встроенной функцией идентификацией объектов, в рамках которой распознавание входного потока данных реализовано посредством нейронных сетей обученных методами машинного обучения, с переносом нагрузки по обработке потока данных на серверную часть, позволяет с высокой точностью идентифицировать не только человека или животного, но и распознать признаки культивируемых растений: формы листьев, ствола, цветков, пигмента, а также иных параметров, позволяющих диагностировать состояние растения в той или иной фазе вегетации.

Полученные сведения оперативным путем в совокупности с автоматическими системами автоматизации сельскохозяйственной деятельности, в комплексе с современной сельскохозяйственной техникой и их комплектующими позволит повысить урожайность и улучшить качество продукции [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует множество инструментов, которые могут быть использованы в сельском хозяйстве. Каждый из которых имеет свои преимущества, и выбор зависит от конкретных условий и задач. Интеграция информационных систем на основе машинного обучения представляет собой эффективное решение в сельскохозяйственном секторе.

Использование технологий машинного обучения и нейронных сетей для анализа посевных полей с лубяными волокнами может значительно улучшить эффективность сбора и анализа достаточного количества данных с датчиков, установленных как стационарно по площади (периметру), так и интегрированных

модульно в БПЛА, позволяя автоматически обрабатывать поступающую информацию. Сбор и обработка большого ненормализованного количества данных, используя систему как элемент поддержки принятия решений, повышая эффективность производства и способствуя увеличению урожайности за счет своевременного принятия профилактических решений на различных стадиях вегетации, является важным фактором для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства.

С использованием технологий машинного обучения в аграрной сфере возможен процесс оптимизации ухода за растениями, что повлечет снижение затрат на каждом из этапов культивации культуры: предварительную обработку почвы, удобрение почвы, периодизацию полива, и т.д., что отражает реализацию задачи стратегического планирования — экономической целесообразности. Наиболее эффективной схемой реализации при построении системы анализа выступает клиент-серверная архитектура с обработкой полезной нагрузки в серверной части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 31.03.2020 № 375 “О внесении изменений в государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия”.
2. Приказ Минсельхоза России от 11.11.2020 № 674 “Об определении приоритетных направлений развития агропромышленного комплекса по субъектам Российской Федерации на 2021, 2022 и 2023 годы” (зарегистрировано в минюсте России 11.12.2020 п 61414).
3. Распоряжение Правительства РФ от 25.01.2017 № 79-р (ред. от 31.08.2021) “Об утверждении перечня сельскохозяйственной продукции, производство, первичную и последующую (промышленную) переработку которой осуществляют сельскохозяйственные товаропроизводители, а также научные организации, профессиональные образовательные организации, образовательные организации высшего образования в процессе своей научной, научно-технической и (или) образовательной деятельности”.
4. Приказ Минсельхоза России от 11.11.2020 № 674 “Об определении приоритетных направлений развития агропромышленного комплекса по субъектам Российской Федерации на 2021, 2022 и 2023 годы” (зарегистрировано в минюсте России 11.12.2020 п 61414).
5. ГОСТ Р 70462.1–2022 Информационные технологии. Интеллект искусственный. Оценка робастности нейронных сетей.
6. *Avetisyan D.R.* Analytical system for data retrieval in network segments // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022664370 от 28.07.2022 г.
7. *Avetisyan D.R.* Dynamics of preservation of viability of micro-plants // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022612599 от 28.02.2022 г.
8. *Avetisyan D.R.* Modern aspects of bast fiber production in the genesis of bast fiber culture selection // Inter. Res. Conf. on Challenges and Advances in Farming, Food Manufacturing, Agricultural Research and Education, Published: 2021.
<https://doi.org/10.18502/7>

Use of Unmanned Aerial Vehicles of Modular Type and Artificial Intelligence in the Analysis of the State of Bast Crops

D. R. Avetisyan[#]

*Don State Agrarian University,
ul. Krivoshlykova 24, Rostov region, Oktyabrsky district, p. Persianovsky 346493, Russia*

[#]*E-mail: Daviondpainter@mail.ru*

The possibilities of using artificial intelligence in the agricultural sector were investigated, in particular, the optimization of the analysis of the phases of vegetation of bast crops. The implementation of this task was most effective within the framework of a traditional mechanism for studying plants in the reference time of their life and through the integration of hardware and software complexes, including a client part consisting of an unmanned aerial vehicle (helicopter, airplane or combined type), photo-video recording modules and a transmission device significant data, as well as the server part, which includes a server in which a convolutional neural network and a database equipped for specific tasks function, in which information about the studied objects and their analyzed features is segmented, as well as the receiving device. The application of advances in science and technology, especially information technology, in the state sector of agriculture will significantly increase the effectiveness of solving strategic tasks in this area.

Keywords: bast crops, analysis, neural networks, data processing centers, client-server architecture, decision support, vegetation conditions, productivity.

УДК 631.811.98:633.11

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВЕ ТРИТЕРПЕНОИДОВ НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ

© 2024 г. Э. С. Давидянц*

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр
356241 Михайловск, Ставропольский край, ул. Никонова, 49, Россия

*E-mail: ei_davidyants@mail.ru

Обобщены сведения о биологической роли тритерпеноидов в растениях, возможных механизмах фиторегулирующего действия тритерпеноидов и их гликозидов, рассмотрены физиологические и биохимические аспекты действия регуляторов роста растений (*PPP*) на основе тритерпеноидов: Силка, Биосила, Новосила, Альфастима и др. на растения пшеницы в разных фазах онтогенеза в нормальных условиях и при действии стрессовых факторов. Приведены данные о влиянии этих *PPP* на поражаемость фитопатогенами, урожайность и качество зерна озимой и яровой пшеницы.

Ключевые слова: регуляторы роста, тритерпеноиды, тритерпеновые гликозиды, препараты Силк, Биосил, Новосил, Вэрва, Альфастим, полифункциональное действие, пшеница.

DOI: 10.31857/S0002188124030109, **EDN:** DNGXMT

ВВЕДЕНИЕ

Физиологическая активность современных экологически безопасных регуляторов роста растений (*PPP*), созданных на основе природных соединений или их синтетических аналогов, проявляется в низких концентрациях и реализуется в повышении эффективности использования питательных веществ, стимулировании ростовых и формообразовательных процессов, увеличении устойчивости растений к абиотическим стрессам и фитопатогенам [1–4]. К числу наиболее эффективных и востребованных в настоящее время в России *PPP* относится группа препаратов, полученных на основе тритерпеноидов, с торговыми названиями Силк, Биосил, Новосил, Вэрва. Действующими веществами этих препаратов является смесь тритерпеновых кислот, полученная из древесной зелени пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), включающая ряд соединений с модифицированным ланостановым углеродным скелетом [5]. Химические структуры основных компонентов смеси тритерпеновых кислот показаны на рис. 1.

Производить эти препараты на промышленной основе стало возможным в результате разработки способов их получения из хвои — побочного продукта переработки древесины [6–8]. Тритерпеновые кислоты из пихты сибирской также входят в состав нового многокомпонентного препарата Альфастим, который содержит еще ауксино-цитокениновый комплекс, аминокислоты, витамины и другие биологически активные вещества [9].

В литературных источниках описана возможность использования в качестве *PPP* растительных экстрактов, содержащих тритерпеноиды в свободном виде (например, экстракт из бересты березы *Betula* L., содержащей преимущественно бетулин) [10], или в виде тритерпеновых гликозидов (ТГ) (например, экстракт из листьев сальвии пронзеннолистной *Silphium perfoliatum* L., содержащий гликозиды олеаноловой кислоты) [11]. В настоящее время рострегулирующее и антистрессовое действие ТГ на растения активно изучают [12].

Препараты Силк, Биосил и Новосил, Альфастим, полученные в виде водной эмульсии (ВЭ) с концентрацией 100 мг/л, рекомендованы для предпосевной обработки семян (норма расхода 50 мл/т) и вегетирующих растений (норма расхода 30–40 мл/га) Вэрва в виде ВЭ с концентрацией 10 г/л — с нормой расхода 500 и 300 мл/т соответственно [13–15].

Необходимость написания данного обзора обусловлена накоплением в литературе новых данных о биологических функциях тритерпеноидов и значительного фактического материала о действии *PPP* на основе тритерпеноидов на сельскохозяйственные культуры, причем большинство число работ посвящено изучению эффективности применения этих *PPP* при возделывании пшеницы, ведущей продовольственной культуры.

В связи с этим цель настоящего обзора — обобщение и анализ сведений о биологической роли тритерпеноидов, возможных механизмах фиторегулирующего действия тритерпеноидов и их гликозидов, рассмотрение физиологических

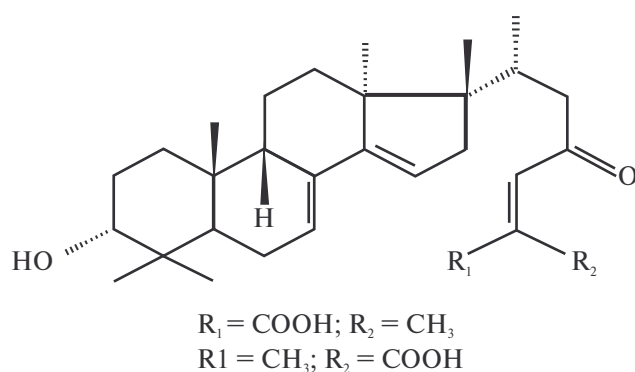


Рис. 1. Химическая структура тритерпеновых кислот из хвои пихты сибирской (*A. sibirica* Ledeb.) — действующих веществ рострегулирующих препаратов Силк, Новосил, Биосил, Вэрва, Альфастим.

и биохимических аспектов действия *PPP* на основе тритерпеноидов на растения пшеницы на различных этапах онтогенеза в нормальных условиях и при действии стрессовых факторов, а также на поражаемость ее фитопатогенами, урожайность и качество зерна озимой и яровой пшеницы.

ТРИТЕРПЕНОИДЫ И ИХ ФУНКЦИИ В РАСТЕНИЯХ

Тритерпены (тритерпеноиды) являются представителями самого многочисленного и структурно разнообразного класса природных соединений — терпенов (терпеноидов, изопреноидов) с общей формулой $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$, углеродный скелет которых построен из изопреновых C_5 -единиц. В зависимости от количества изопреновых фрагментов терпены классифицируются на геми-, моно-, сескви-, ди-, три-, тетра- и политерпены [16]. Тритерпеноиды являются крупнейшим подклассом терпеноидов с более 14000 известных структур. В растениях тритерпеноиды встречаются в свободном виде и в виде гликозидов, называемых тритерпеновыми гликозидами (сапонинами). Углеродный скелет тритерпеноидов может быть ациклическим, тетрациклическим или пентациклическим.

Биосинтез тритерпеноидов происходит по мевалонатному пути с образованием 30-углеродного предшественника — 2,3-оксидосквалена. В результате циклизации последнего с помощью оксидоскваленциклазы образуется более 100 различных тритерпеновых каркасов, которые в дальнейшем могут подвергаться диверсификации путем оксигенации и гликозилирования с образованием огромного структурного многообразия.

Биологические функции тритерпеноидов недостаточно выяснены. Имеются данные об участии тритерпеноидов в защите и развитии растений [17].

Являясь продуктами вторичного (специализированного) обмена, тритерпеноиды и их производные играют важную экологическую роль, защищая растения от фитопатогенов, насекомых-вредителей и травоядных животных благодаря наличию антифунгальных, антимикробных, инсектицидных и др. свойств, а также служат аллелопатическими агентами при конкурентных взаимоотношениях между растениями, поскольку в повышенных концентрациях оказывают на рост ингибирующее действие. Таким образом, тритерпеноиды обеспечивают адаптацию и выживаемость растительного организма в неблагоприятных условиях среды [18–20].

Образование тритерпеноидов происходит конститутивно в процессе нормального роста и развития растений, но может индуцироваться в ответ на биотический стресс, в том числе атаки патогенов и травоядных. В этом случае тритерпеноиды имеют статус фитоалексинов [21].

Недавно на примере тритерпенового гликозида эсцина, выделенного из конского каштана (*Aesculus hippocastanum* L.), был установлен двойной механизм его защитного действия: как противогрибного агента и индуктора иммунитета, опосредованного салициловой кислотой. Общий защитный эффект эсцина был весьма высок и сравним с эффектом синтетического фунгицида [22].

Помимо выполнения основной фитопротекторной функции, эндогенные тритерпеноиды, по-видимому, могут участвовать в некоторых физиологических процессах в растениях. В последние годы с помощью молекулярно-генетических методов получены убедительные доказательства влияния таких специализированных тритерпенов, как талианол и марнерал, на рост и развитие корней модельного растения *Arabidopsis thaliana* [19]. Установили, что активность 2-х кластерных генов талианола талианолсинтазы (THAS) и талианолацилтрансферазы (THAA2) модулирует развитие корня арабидопсиса, и талианоловой путь не только контролируется фитогормональными сигналами, но и метаболиты талианолового пути могут изменять действие самих фитогормонов, тем самым влияя на развитие корней и взаимодействие с окружающей средой [23]. Также было замечено, что метаболизм талианола играет важную роль в сборке и становлении микробиома арабидопсиса; было показано, что очищенные тритерпены непосредственно модулируют корневые бактерии, оказывая стимулирующее или ингибирующее действие на рост в зависимости от тестируемых соединений и корневых микробов. В соответствии с этим было высказано предположение, что тритерпены также служат корневым экссудатом для формирования *Rizobium*. В качестве мембранных компонентов гидрофобные тритерпены выполняют структурную и регуляторную функцию,

т.е. могут влиять на проницаемость мембран и, таким образом, оказывать влияние как на транспорт гормонов и их накопление в корне, так и на экссудацию метаболитов, тем самым косвенно модулируя корневые микроорганизмы [24].

Установлено участие тритерпеноидов (β -амирина, лупеола), а также ТГ в процессах формирования и развития клубеньков бобовых культур. Показана роль β -амирина в спецификации эпидермальных клеток корня и образовании корневых волосков растений овса (*Avena strigosa* Schreb.), а также структурная функция тритерпеноидов, как компонентов кутикулы и кутикулярного воска, создающих барьер для водопроницаемости и испарения воды [19].

ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФИТОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ТРИТЕПЕНОИДОВ

Одним из важнейших биологических свойств тритерпеноидов является способность вызывать изменения роста при экзогенном воздействии на растения. Согласно современным представлениям, физиологическая активность большинства негормональных фиторегуляторов обусловлена их способностью влиять на какой-либо компонент гормональной системы растений [25–27]. Молекулярные механизмы фиторегулирующего действия тритерпеновых веществ неизвестны, но полученные данные о механизме действия отдельных соединений (например, хромосапонина I, тритерпенового гликозида, выделенного из бобовых культур) указывают на то, что физиологические эффекты тритерпеноидов и их гликозидов могут осуществляться путем модулирования действия фитогормонов за счет влияния на их транспорт, внутриклеточное содержание и (или) на передачу гормональных сигналов [28]. Например, было показано, что вызванная хромосапонином I стимуляция роста корней, удлинения и деления эпидермальных корневых клеток проростков арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) связана с участием этого соединения в передаче сигналов этилена и гиббереллина [29]. Кроме того, на мутантах арабидопсиса была установлена способность хромосапонина I регулировать геотропный ответ корней путем модулирования притока эндогенного ауксина в клетки корня за счет специфического взаимодействия с AUX1 — белком-переносчиком ауксина [30].

В реализации фиторегулирующего действия ТГ важное значение может иметь их способность увеличивать проницаемость клеточных мембран. В низких концентрациях ТГ, взаимодействуя со стеринами клеточных мембран, образуют дополнительные ион-селективные каналы, проницаемые в основном

для K^+ , Na^+ и Cl^- , которые могут служить сигналом к запуску и стимуляции клеточных процессов [31].

На примере ТГ показано, что в зависимости от структуры они оказывают на растения физиологическое действие при тех же концентрациях, что и фитогормоны, проявляя в специфических биотестах эффекты, характерные для ауксинов, гиббереллинов и цитокининов. Ауксиноподобное действие ТГ проявлялось в биотесте на стимуляцию роста coleoptilia пшеницы (*Triticum aestivum* L.) путем растяжением клеток [32], биотесте на стимуляции корнеобразования у стеблевых черенков фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) [33], а также в стимулировании роста корней проростков гороха (*Pisum sativum* L.) [34].

Установлено изменение активности ферментов, участвующих в метаболизме ауксина — индол-3-уксусной кислоты (ИУК) после действия на растения низких концентраций ТГ, выделенных из листьев *Silphium perfoliatum* L. Обработка семян озимой пшеницы растворами этих соединений снижала в проростках активность пероксидазы (ПО), ИУК-оксидазы (ИУКО) и полифенолоксидазы (ПФО): в корнях соответственно на 15–22, 24–33 и 8–20%, в побегах — на 23–35, 33–44 и 18–21% по сравнению с контролем [35]. Эти данные позволяют предполагать, что снижение под действием ТГ ауксиноксидазной активности приводит к повышению содержания ИУК и, следовательно, к усилению ИУК-зависимых ростовых процессов. Действие ТГ на ИУКО сходно с действием экзогенного гиббереллина (GA_3), который, как известно, оказывает существенное влияние на ауксиновый обмен, способствуя различными путями повышению ИУК в тканях. После обработки GA_3 наблюдали повышение ИУК в растениях и понижение активности ИУКО [36].

Гиббериллиноподобная активность ТГ выявлена в биотесте на прирост гипокоты салата (*Lactuca sativa* L.), кроме того ТГ стимулировали прорастание семян салата при повышенной температуре, проявив активность, характерную для гиббереллинов и цитокининов [33]. Одним из проявлений биологической активности цитокининов является стимуляция роста каллусных клеток в изолированной стерильной культуре. При введении в стерильную питательную среду тритерпеновых соединений (0.01, 1.0, 10.0 мг/л) наблюдали усиление роста каллусной ткани женьшеня (*Panax ginseng* C.A. Mey) [37], повышение индекса роста каллусной культуры княжика сибирского (*Atragea speciosa* Weinm.) на среде с добавкой препарата Силк в концентрации 0.04 и 0.08 мл/л [38]. Цитокининоподобная активность была установлена у ТГ в биотесте на сохранение хлорофилла в изолированных отрезках листьев ячменя посевного (*Hordeum sativum* L.).

В помещенных на растворы ТГ отрезках листьев в темноте отмечена задержка разрушения пигментов, суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* в них через 6 сут от начала эксперимента было на 10–30% больше, чем в контроле. Эффект ТГ (1 мг/л) соответствовал уровню активности 6-бензиламинопурина (БАП) в аналогичной концентрации (30% по отношению к контролю) [33]. Гиббереллино- и цитокининоподобное действие тритерпеноиды оказывали также на процессы прорастания семян пшеницы, которое будет рассмотрено ниже.

Таким образом, тритерпеновые соединения обладают широким спектром рострегулирующей активности и способны оказывать влияние на физиолого-биохимические процессы, регулируемые различными группами фитогормонов.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВЕ ТРИТЕРПЕНОИДОВ НА НАЧАЛЬНЫЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ ПШЕНИЦЫ

Процесс прорастания начинается с начала поступления воды в семя. Вода является не только обязательным условием, но и триггером прорастания. Поэтому интенсивность прорастания семян зависит от скорости их набухания. Повышение темпов водопоступления в семена, как известно, приводит к более раннему достижению пороговых уровней, необходимых для активации метаболических процессов [39].

Применение препарата Силк для обработки семян озимой пшеницы (сорт Скифянка) способствовало усилению водопоглощения, которое составило через 40 ч 75.6% (в контроле – 67.9%) [40]. Отмечено также более интенсивное набухание семян яровой пшеницы сорта Учитель после их обработки препаратом Биосил [41]. В обработанных растворами очищенной суммы ТГ (концентрации 0.0005 и 0.001%) и обогащенного ими экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* L. (концентрации 0.2, 0.4%) семенах озимой пшеницы (сортов Багира и Виктория 11) интенсивность их набухания в течение 48 ч их намачивания увеличилась по сравнению с контролем на 3.1–5.2% в зависимости от сорта, причем этот эффект препаратов был сходен с эффектом экзогенного гиббереллина (GA_3) при использовании концентрации 0.0005% [42].

Было показано, что при обработке семян озимой пшеницы сорта Авеста низкими концентрациями ТГ (0.5, 1, 5 мкМ), в них при прорастании наблюдали существенное увеличение активности α -амилазы и суммарной активности амилаз [43]. Под действием препарата очищенной суммы ТГ повышалась общая амилазная активность в проростках, при этом отмечена различная реакция

сортов озимой пшеницы (сорта Авеста и Ермак) на действие разных концентраций исследованного препарата и фитогормонов, что, по-видимому, обусловлено различиями в балансе эндогенных фитогормонов в растениях этих сортов [44]. Выявлено также увеличение суммарной активности амилаз в прорастающих зерновках озимой пшеницы сорта Скифянка после их предварительной обработки препаратом Силк [40].

В обработанных растворами ТГ (в концентрациях 0.5, 5.0 и 10.0 мкМ) семенах озимой пшеницы сорта Авеста при их прорастании повышалась активность ПО на 40–80 и ПФО – на 15–23% по сравнению с контролем [35]. Обработка семян озимой пшеницы сорта Московская 56 препаратом Новосил также вызывала в них на 5-е сут прорастания увеличение активности ПО, но не столь значительное [45]. В прорастающих семенах яровой пшеницы, предобработанных Новосилом, повышалась интенсивность расхода их сухой массы на 4.5–6.1% предположительно за счет повышения ферментативной активности [46]. Кроме того, при нанесении на семена озимой пшеницы сортов Багира и Виктория 11 растворов препарата очищенной суммы ТГ (0.0005 и 0.001%) наблюдали повышение в них активности каталазы (КАТ), которое на 7-е сут прорастания семян составило по отношению к контролю 35–55% в зависимости от сорта. Схожее действие отмечено при применении экстракта, обогащенного ТГ, полученного из листьев *Silphium perfoliatum* L. По степени воздействия на активность КАТ препараты ТГ были близки к экзогенному GA_3 [42].

Установлено, что обработка семян сорта озимой пшеницы Виктория 11 раствором очищенной суммы ТГ (0.001%) повышала суммарную активность нитратредуктазы (НР) корней и листьев 7-суточных проростков на 22%, на фоне субстратной активации фермента нитратом калия – на 41% по сравнению с контролем [47]. Этот эффект ТГ можно рассматривать как проявление цитокининоподобного действия на метаболическом уровне, поскольку гормональная регуляция активности НР – первого и ключевого фермента азотного метаболизма в процессе восстановления нитрата до нитрита – осуществляется цитокининами [48]. Об активации азотного метаболизма свидетельствует также повышение в проростках содержания суммарного белка на 8–16% по отношению к контролю после обработки семян растворами индивидуальных ТГ и их суммы, активность которых соответствовала уровню активности экзогенного БАП. Повышение содержания суммарного белка в проростках положительно коррелировало с увеличением длины корней и побегов, их сырой и сухой массой [43, 44]. Показано также, что обработка семян мягкой яровой пшеницы сорта Прохоровка

и твердой сорта Омский рубин препаратом Силк вызывала увеличение интенсивности клеточных делений апикальных меристем зародышевых корней на 31.0%, при этом синхронность митозов корневых меристем мягкой пшеницы возрастала на 10.1, твердой — на 8.3% [49].

Таким образом, обработка семян пшеницы тритерпеновыми соединениями увеличивало водопоглощение и их набухание, что приводило к более быстрому достижению пороговых уровней оводненности семян и активации метаболизма. При этом отмечено увеличение активности ферментов: амилаз, ПО, ПФО и КАТ в прорастающих семенах и НР в корнях и листьях проростков, свидетельствующее о повышении скорости мобилизации запасного крахмала, усилении окислительно-восстановительных процессов, интенсивности дыхания и более активном использовании азота, особенно на фоне применения нитратов. Вследствие этого увеличивалось содержание суммарного белка в проростках, интенсивность деления клеток и синхронность митозов в апикальных меристемах зародышевых корней.

Можно предполагать, что стимулирующее действие PPP на основе тритерпеноидов на активность ферментов в прорастающих семенах пшеницы опосредовано гиббереллинами и цитокининами, поскольку именно эти фитогормоны, как известно [50], играют важную роль в регулировании процессов прорастания и метаболизма семян, в частности, функцию регулирования образования гидролитических ферментов в семенах однодольных культур выполняют гиббереллины.

Активация физиолого-биохимических процессов под действием тритерпеновых регуляторов роста на начальных этапах прорастания находит свое выражение в показателях посевных качеств семян, о чем свидетельствует наличие тесной положительной корреляционной зависимости между амилазной, каталазной [40, 49], пероксидазной активностью [51] и всхожестью семян, а также между степенью набухания и энергией прорастания семян [49]. Например, при применении в оптимальных концентрациях очищенной суммы ТГ (0.0005%) и обогащенного ими экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* L. (0.4%) наблюдали увеличение скорости прорастания соответственно на 4–7 и 3–9% и лабораторной всхожести семян озимой пшеницы сортов Багира и Виктория 11 — на 4–6 и 3–5% в зависимости от сорта. Повышение относительно контроля энергии прорастания и лабораторной всхожести семян при использовании ГА₃ в данном случае составило 3–9 и 4–5% соответственно [42].

Во многих исследованиях показано, что обработка семян озимой пшеницы препаратом Силк в зависимости от сорта и условий выращивания

вызывала повышение по сравнению с контролем энергии прорастания семян на 3.5–6.8, лабораторной и полевой всхожести — соответственно на 3.5–4.7 и 1.4–7.5% [40, 52–54]. После обработки семян озимой пшеницы препаратом Биосил увеличение этих показателей по отношению к контролю составило соответственно 5–10, 3–8, 5–11%, [55–58]. При применении препаратов Новосил и Альфастим энергия прорастания, лабораторная и полевая всхожесть повышались соответственно на 5–8, 3–7, 4–11% [58–60]. Схожие данные для этих показателей получены и для яровой пшеницы при использовании препаратов Силк [49, 61, 62], Биосил [41, 63–68], Новосил [69–71], Альфастим [72, 73]. При этом под действием рассматриваемых препаратов отмечено увеличение длины и массы проростков. Предпосевная обработка семян пшеницы препаратами стимулировала более раннее появление всходов (на 1–4 сут) [41, 56, 74], увеличение высоты растений, коэффициента кущения [40, 52, 58, 70, 75–76], усиление развития корневой системы [77, 78]. Отмечено также увеличение содержания хлорофиллов *a* и *b* в проростках яровой пшеницы, полученных из обработанных препаратом Биосил (10^{-7} %) семян [67]. В полевых условиях при посеве обработанных Силком семян яровой пшеницы в фазе кущения также наблюдали увеличение общего содержания хлорофилла на 5.4% [74]. Приведенные данные свидетельствуют об активизации фотосинтеза при применении рассмотренных препаратов уже на ранних этапах развития растений.

Таким образом, предпосевная обработка семян пшеницы регуляторами роста на основе тритерпеноидов, повышала полевую всхожесть, стимулировала развитие корневой системы и образование побегов кущения, способствовала формированию оптимальной густоты стеблестоя — первого и основополагающего элемента структуры урожая, которые являются необходимыми условиями последующего успешного развития растений и повышения их продуктивности.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВЕ ТРИТЕРПЕНОИДОВ НА ВЕГЕТИРУЮЩИЕ РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ

Количество хлорофилла является важнейшим биохимическим показателем, определяющим эффективность функционирования фотосинтетического аппарата и его потенциальные возможности в формировании общей биологической продуктивности растений [79]. При изучении действия PPP на растения озимой пшеницы в условиях Краснодарского края установили повышение содержания пигментов в листьях под влиянием препарата Силк. Если в фазе колошения в листьях разных

сортов озимой пшеницы в контроле содержание хлорофилла *a* составило 6.52–6.88, хлорофилла *b* – 2.23–2.30 и каротиноидов – 2.66–2.89 мг/г сырой массы, то в вариантах с обработкой семян и растений Силком величина этих показателей составила соответственно 7.11–7.59, 2.24–2.33 и 3.03–3.28 мг/г сырой массы, следовательно, количество суммарного хлорофилла в опытных вариантах превысило контроль на 6.9–8.1, каротиноидов – на 13.9–13.5%. Аналогичная закономерность отмечена и в других фазах развития растений [52]. При изучении действия Силка, Биосила и экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* L. в посевах разных сортов озимой пшеницы в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края показано увеличение в фазе молочной спелости содержания в листьях хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и суммарного хлорофилла на 9–25% [77, 80]. При обработке растений в фазе колошения Силком и экстрактом на фоне некорневой азотной подкормки карбамидом в дозе N30 содержание суммарного хлорофилла в листьях увеличилось в зависимости от сорта на 12–31% по сравнению с контролем [81]. Установлен наибольший стимулирующий эффект препарата Силк на содержание хлорофилла в листьях при его применении в утренние часы по сравнению с применением в ночное время [82].

Фотосинтетическая деятельность растений, основными показателями которой являются площадь листьев (ПЛ), фотосинтетический потенциал (ФП), чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и коэффициент использования фотосинтетически активной радиации (ФАР), играет важную роль в формировании урожая [83]. В ряде работ показано, что применение препарата Силк в посевах озимой пшеницы приводило к увеличению размеров ассимиляционной поверхности листьев, продолжительности их жизни и интенсивности работы листового аппарата, следствием чего явилось повышение фотосинтетической продуктивности растений [40, 52, 84–86]. Например, опыты, проведенные на выщелоченном черноземе Ставропольского края, показали, что обработка семян и растений озимой пшеницы сорта Палпич в фазе начала выхода в трубку препаратом Силк повышала ФП в межфазный период трубкования–цветения в среднем за 3 года на 86.3 тыс. м²/сут/га по отношению к контролю, при этом ЧПФ возросла относительно контроля в среднем за вегетацию на 1.36 г/м²/сут (на 14.9%) [40]. Если площадь листовой поверхности посевов озимой пшеницы сорта Московская 39, произрастающей в условиях Курской обл., в фазе молочно-восковой спелости в контрольном варианте составила в среднем за 3 года исследований 24.3 тыс. м²/га, то при обработке посевов препаратом Силк в период кущения–начала выхода в трубку она увеличилась относительно контроля на 11.1%

(на 26.9 тыс. м²/га), а ФП – на 17.7% [84]. Согласно литературным данным [85], обработки посевов озимой пшеницы сорта Гром препаратом Силк в условиях этого же региона увеличивали площадь листовой поверхности (на 6.4–24.3%) и рост сухой биомассы растений к концу вегетации в среднем за 2 года на 0.88 т/га (на 8.4%) по сравнению с контролем. Показано увеличение ПЛ и ЧПФ в разных фазах развития озимой пшеницы Московская 39 в условиях Республики Мордовия (южная часть Нечерноземной зоны России) при обработке посевов препаратом Силк как на безгербицидном фоне, так и при его совместном использовании с гербицидами [86]. В результате изучения действия Силка на показатели фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы сорта Тарасовская 70 в условиях темно-каштановых почв Ростовской обл. после обработки препаратом семян и посевов в фазе кущения установлено повышение ПЛ, ФП, сухой надземной биомассы растений [54].

Высокий положительный эффект на фотосинтетическую деятельность посевов озимой пшеницы обнаружен у препарата Биосил. Исследования [85], проведенные на 6-ти сортах озимой пшеницы на фоне использования различных доз минеральных удобрений в зоне светло-каштановых почв Республики Калмыкия, показали, что предпосевная обработка семян и опрыскивание растений в фазе начала выхода в трубку препаратом Биосил обеспечили в среднем за 3 года наибольшее увеличение ПЛ_{max} на 42.7–46.7, (контроль – 29.6–30.7 тыс. м²/га), ФП – на 1950–2210 (контроль – 1320–1410 тыс. м²/сут/га), ЧПФ – на 3.8–4.2, (контроль – 2.6–3.1 г/м²/сут), коэффициент использования ФАР – на 1.93–2.11 (контроль – 1.00–1.06%), при этом урожай сухой биомассы составил 7.83–8.10 (контроль – 6.30–6.68 т/га). Применение Биосила в посевах сорта озимой пшеницы Оренбургская 105 в засушливых условиях Оренбургского Предуралья также способствовало формированию более мощного ассимиляционного аппарата и увеличению коэффициента использования ФАР, а также выявлена тесная корреляционная связь ($r = 0.970$) ФП с максимальной ПЛ. По данным авторов работы [56], при обработке препаратом Биосил семян и 2-кратной обработке растений озимой пшеницы сорта Виктория Одесская в весенне-летний период вегетации в условиях Ростовской обл. в фазах кущения и колошения в среднем за 3 года ПЛ увеличилась относительно контроля на 2.2 тыс. м²/га, ФП – на 171 тыс. м²/сут/га, ЧПФ – на 0.35 г/м²/сут.

При обработке Новосилом семян озимой пшеницы, возделываемой в условиях ЦЧР, наблюдали увеличение ПЛ, ФП, при этом ЧПФ в межфазный период выхода в трубку–колошения у сортов Московская 56 и Бирюза в среднем за 3 года составила соответственно 6.3 и 4.8, в то время как в контроле – 5.1 и 4.3 г/м²/сут. Причем наибольший эффект

препарата Новосил на фотосинтетическую продуктивность отмечен в вариантах с его совместной обработкой с фунгицидом [89]. При сочетании обработки Новосилом посевов озимой пшеницы сорта Трио в фазе выхода в трубку с некорневой азотной подкормкой (N60) на удобренном фоне (N60P60K45) в условиях лесостепной зоны РСО—Алания отмечено значительное увеличение сухой надземной биомассы (на 1.65 т/га) по сравнению с контролем (без удобрения и регулятора роста) [90].

Показано, что обработка посевов сорта Гром в условиях Адыгеи в фазах кущения и колошения препаратами Новосил, Альфастим и Биосил стимулировала увеличение ПЛ в поздних фазах развития растений на 9–10%. Отмечено увеличение величины ФП под действием препаратов в междоузльных периодах и ЧПФ в период колошения—молочная спелость в вариантах с обработкой Новосилом на 35.9, Альфастимом — на 25.6 и Биосилом — на 39.2% [91]. Применение Новосила, Альфастима и Биосила для обработки растений озимой пшеницы сортов Тая и Гром в фазах выхода в трубку, выращиваемых в условиях предгорной провинции Дагестана, приводило к увеличению относительно контроля ПЛ на 17.8 и 31.3%, 14.8 и 21.9%, 5.2 и 10.2% соответственно. Под действием исследованных препаратов зафиксировано увеличение и других показателей фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы [92].

В условиях Пензенской обл. у обработанных Силком растений яровой пшеницы сорта Прохоровка ПЛ в зависимости от уровня минерального питания в среднем за 3 года превысила контроль на 3.1–3.2 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, ФП — на 70–73 тыс. $\text{м}^2/\text{сут}/\text{га}$, ЧПФ — на 0.16–0.19 $\text{г}/\text{м}^2/\text{сут}$ в период от выхода в трубку до колошения [75]. При обработке препаратом Силк семян и 2-кратной обработке посевов яровой пшеницы сорта Камышинская 3 в условиях подзоны светло-каштановых почв Нижнего Поволжья на фоне внесения удобрений в дозе N90P60 величина ПЛ за период вегетации в среднем за 3 года составила 20.5 (контроль 19.9 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$), ФП — 957 (контроль 895 тыс. $\text{м}^2/\text{сут}/\text{га}$), урожайность сухой биомассы — 5.42 (контроль — 5.37 т/га) [61]. Согласно исследованиям, проведенным в засушливых условиях Волгоградского Заволжья, аналогичные обработки посевов яровой пшеницы разных сортов также приводили к увеличению относительно контроля показателей ПЛ, ФП и урожайности сухой биомассы, но эффект препарата зависел от нормы высева семян [93]. На основании исследований, проведенных в условиях южной зоны Амурской обл., отмечено увеличение в среднем за 2 года по отношению к контролю ПЛ_{max} на 2.8 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$ (на 13.7%) в фазе цветения сорта яровой пшеницы Арюна после опрыскивания посевов в фазе флаг-листа

препаратом Новосил, а также повышение ФП за вегетацию на 110 тыс. $\text{м}^2/\text{сут}/\text{га}$ (на 15.6%) и ЧПФ — на 0.79 $\text{г}/\text{м}^2/\text{сут}$. В варианте с применением Новосила сухая масса растений в фазе молочной спелости составила 5420 кг/га, что на 28.7% превысило контроль [94].

Стимулирование процессов образования хлорофилла и усиление фотосинтетической деятельности растений пшеницы с помощью PPP в значительной мере связано с улучшением снабжения растений элементами минерального питания. В результате опытов, проведенных в южной части Ростовской обл., установлено увеличение содержания N, P, K в надземной части растений озимой пшеницы сортов Донская Юбилейная и Ермак при обработке семян и посевов в фазе колошения препаратом Силк [95]. Исследования [96] показали, что обработка препаратом Альфастим семян озимой пшеницы сорта Багира в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края способствовала повышению содержания азота в органах растений на разных этапах органогенеза. Если в фазе кущения содержание азота в листьях составило 4.39, то при применении регулятора роста — 4.79%. Увеличение содержания азота в вегетативной массе растений отмечено также в фазах колошения и молочно-восковой спелости, при этом возрастала активность НР во флаговых листьях до 5.39 (контроль — 3.60 $\text{мкМ NO}_2/\text{растение}$). В результате предпосевной обработки семян препаратом Альфастим увеличение активности НР наблюдали в фазе колошения также в листьях сорта озимой пшеницы Виктория 11 [97], что свидетельствовало о повышении нитратвосстанавливающей способности листьев и усвоении нитратов.

Таким образом, обработки семян и растений пшеницы PPP на основе тритерпеноидов увеличивали содержание хлорофилла в листьях, активизировали фотосинтетическую деятельность посевов, повышали продуктивность фотосинтеза, способствовали увеличению содержания элементов минерального питания, активировали азотный метаболизм.

ДЕЙСТВИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВЕ ТРИТЕРПЕНОИДОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ И ПОРАЖАЕМОСТЬ ФИТОПАТОГЕНАМИ

Различные стрессы являются основными факторами, ограничивающими продуктивность сельскохозяйственных культур. Проблема повышения устойчивости к неблагоприятным условиям среды в настоящее время стоит особенно остро в связи с увеличением стрессовой нагрузки на растения, вызванной техногенным загрязнением окружающей среды, негативным влиянием на нее

химических пестицидов, уменьшением почвенного плодородия, резким изменением климата [2, 4].

В ответных реакциях растений на стресс и адаптационных перестройках, выражающихся в изменении многих физиологических и метаболических процессов, важная роль принадлежит фитогормонам [98, 99]. Экзогенное применение фитогормонов или других рострегулирующих веществ, воздействующих на работу гормональной системы, позволяет изменять реакцию растений на действие различных стрессоров (низких и высоких температур, водного дефицита, засоления, гипоксии и др.) и повышать к ним устойчивость растений.

Влияние регуляторов роста на основе тритерпеновых соединений на стрессоустойчивость пшеницы изучали в ряде модельных опытов в лабораторных условиях и оценивали по способности семян прорасти в экстремальных условиях и ростовой реакции проростков. Критериями оценки служили показатели водопоглощения семенами, их энергия прорастания и всхожесть, линейные размеры и биомасса проростков.

На модели прорастающих семян пшеницы установлен антистрессовый эффект ТГ при действии на семена высокой температуры. Показано, что у семян озимой пшеницы сорта Виктория Одесская, подвергшихся действию высокой температуры (100°C, 2 ч), резко снижалась всхожесть (7%), в то время как семена, предварительно обработанные растворами суммы ТГ (0.01%), экстракта из *Silphium perfoliatum* (0.2–0.4%) и абсцизовой кислоты (АБК) (0.001%), в значительной мере сохранили всхожесть (соответственно 46 и 54%) при этом длина проростков, полученных из этих семян, превышала длину контрольных проростков в несколько раз [100]. Антистрессовый эффект суммы ТГ в данном случае был сходен с эффектом АБК, которая является одним из важнейших стресс-гормонов, регулирующих защитные реакции растений на повышение температуры, обезвоживание, засоление и другие стресс-факторы. Установлено также, что семена озимой и яровой пшеницы, обработанные растворами суммы ТГ и проращиваемые во влажном песке при повышенной температуре, прорастали значительно интенсивнее, чем в контроле (обработка водой), их энергия прорастания составила соответственно 54 и 80%, а в контрольном варианте всходы отсутствовали. Грунтовая всхожесть семян в опытных вариантах превысила контроль соответственно на 25 и 19% и достигла уровня, который наблюдали при прорастании семян этой культуры в оптимальных условиях [101].

Наряду с действием повышенных температур, значимым абиотическим фактором, существенно влияющим на урожайность сельскохозяйственных

культур, является водный дефицит (засуха). Действию этого фактора могут подвергаться растения озимой и яровой пшеницы главным образом во 2-й половине вегетации. Оценку влияния рассматриваемых регуляторов роста на засухоустойчивость пшеницы проводили косвенным методом — при проращивании семян в растворах осмотика (сахарозы, полиэтиленгликоля). Было показано, что у семян озимой пшеницы сорта Скифянка, проращиваемых на растворах сахарозы, значительно снижалось водопоглощение. Обработанные Силком семена достигали необходимого для прорастания порога водопотребления через 22 ч с начала проращивания (47.9%), в то время как в контроле (обработка водой) водопоглощение составило 35.8%. Применение PPP позволило увеличить водопоглощение на 8.5–12.1%, но их абсолютные показатели были все же меньше, чем в варианте с проращиванием семян на воде (53.0%). Кроме того, в обработанных Силком семенах при их проращивании в растворе сахарозы отмечено увеличение интенсивности дыхания семян (2.0–2.5) по сравнению с контролем (0.5–1.5 мг CO₂/г семян/ч), активности КАТ (14.1), (в контроле — 11.8 см³ O₂/3 мин), при этом энергия прорастания повысилась относительно контроля на 15, всхожесть — на 6, сухая масса побегов проростков — на 11.3% [40]. В аналогичном лабораторном опыте установлено стимулирующее действие Альфастима на параметры роста проростков (длину корней и побегов) при обработке им семян озимой пшеницы сорта Багира, проращиваемых в растворах сахарозы различной концентрации (3, 10, 20%), имитирующих различные уровни почвенной засухи. Эффект препарата возрастал при его совместном использовании с жидкими органо-минеральными удобрениями Полидон Био Зерновой и Полидон Амино Старт [102].

Изучение влияния Na-солей суммы тритерпеновых кислот из пихты сибирской на устойчивость яровой пшеницы сорта Приокская к обезвоживанию показало, что после инкубации проростков в растворах осмотика (полиэтиленгликоль в концентрации 10 и 15%) прирост корней за 1 сут снизился на 11–12% по сравнению с растениями, выращенными в обычных условиях. Обработка семян препаратом в концентрациях 0.0001–0.001% привела к восстановлению скорости роста корней после снятия стресса до исходного уровня, длина корней при этом превысила контроль (обработка водой) на 11–18%. При применении более высокой концентрации препарата 0.002% длина корней проростков увеличивалась на 24–32% в зависимости от величины стрессовой нагрузки. Накопление сухой массы корнями проростков возрастало соответственно увеличению применявшихся концентраций препарата [103].

Тяжелым стресс-фактором для растений является засоление, обусловленное повышенными концентрациями в среде минеральных солей, оказывающих на растения осмотическое и токсическое действие. Обработка семян озимой пшеницы сорта Скифянка Силком на фоне хлоридного засоления повышала относительно контроля водопоглощение семенами на 8.0–15.4%, активность в них КАТ — на 16.4% и интенсивность дыхания семян (1.9–2.2) по отношению к контролю (0.9–1.2 мг CO_2 г семян/ч), при этом увеличивалась энергия прорастания, всхожесть семян и сухая масса проростков — соответственно на 13, 9.0 и 35.3% по сравнению с контролем (без обработки) [40]. Положительное влияние Силка на посевные качества семян и развитие проростков озимой пшеницы в условиях солевого стресса подтверждено и другим исследованием [104]. Обработка препаратом Альфастим семян озимой пшеницы сорта Виктория 11 повышала солеустойчивость проростков, находящихся в солевом растворе, увеличивая интенсивность линейного роста корней, побегов и накопление биомассы [105]. Установлен также антистрессовый эффект экстракта из листьев *Silphium perfoliatum*, содержащего ТГ, на проростки озимой пшеницы, подвергнутые солевому стрессу. При проращивании семян сорта Виктория Одесская, обработанных экстрактом в концентрации 0.5–1.2%, в растворе NaCl (концентрация 0.98%) наблюдали увеличение длины проростков на 26 и их сухой массы — на 10% по сравнению с контролем (обработка водой), что свидетельствовало о повышении их солеустойчивости [100].

Показано стресспротекторное действие препарата Na-солей суммы тритерпеновых кислот из пихты сибирской на устойчивость яровой пшеницы сорта Приокская к алюмокислотному стрессу, действию которого особенно подвержены растения, произрастающие на почвах Незерноземной зоны России. При проращивании семян, предварительно обработанных растворами препарата в концентрации 0.0015–0.002% в растворе сульфата алюминия (рН 4.5), наблюдали увеличение по сравнению с контролем (без обработки) длины корней на 22–59, побегов — на 2–13, сухой массы проростков — на 11–49%. Хотя линейные размеры проростков существенно возросли, однако не достигли величин, зарегистрированных в эти сроки у проростков, выращенных на воде. Тем не менее, при применении препарата негативное действие стресса на растения значительно снизилось [103].

Известно [106], что высокие концентрации ионов водорода и алюминия в корнеобитаемой зоне растений приводят к изменению их метаболизма, нарушают синтез хлорофилла и процессы фотосинтеза, а также индуцируют усиление образования активных форм кислорода (АФК), приводящее к окислительному стрессу, который может

сопровождаться снижением количества фотосинтетических пигментов. Показано [107], что в листьях проростков яровой пшеницы сорта Приокская на алюмокислотном фоне наблюдали уменьшение содержания хлорофиллов *a* и *b* (на 12 и 14% соответственно), каротиноидов (на 10%). Обработка семян экстрактами из хвой пихты (*Abies sibirica* L.) (концентрация 0.0001%) повышала содержание пигментов в листьях стрессированных проростков на 5–6%. Применение аналогичной концентрации экстракта из березы (*Betula pendula* R.), содержащего тритерпеноиды, компенсировало стрессовое воздействие на пигментный комплекс проростков и повышало содержание хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов в листьях соответственно на 9, 27 и 11% по сравнению с контролем без обработки. Установлено также антиоксидантное действие экстрактов на нейтральном фоне по снижению интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ), которое оценивали по содержанию малонового диальдегида (МДА) — конечному продукту процесса. При обработке семян экстрактом из пихты в низкой концентрации (0.000025%) наблюдали наибольшее снижение содержания МДА (9.0) по сравнению с контролем (13.3), при использовании концентрации экстракта из березы (0.0001%) содержание МДА составило 12.2 нМ/г сырой массы. На алюмокислотном фоне указанные концентрации экстрактов не действовали на снижение ПОЛ, тенденция к уменьшению интенсивности ПОЛ прослежена только в варианте с обработкой семян экстрактом из березы (0.001%). Авторы отмечали, что в стрессовых условиях эффективны повышенные концентрации препаратов, оказывающее защитное действие на физиологические процессы в растениях по сравнению с концентрациями, эффективными в нормальных условиях. Такая закономерность отмечена и в других исследованиях антистрессового действия PPP на основе тритерпеноидов [100, 101].

Одним из неблагоприятных факторов, ведущих к гибели сельскохозяйственных культур, в особенности озимых, является гипоксия (кислородная недостаточность). В природных условиях она возникает в результате переувлажнения и затопления посевов, образования ледяной корки в осенне-зимний и весенний периоды. Результаты лабораторного опыта показали, что из обработанных препаратом Силк семян озимой пшеницы сорта Московская 39, выдержанных в воде в течение 5 сут, образовались проростки, длина корня и побега которых превышала эти показатели в контроле (без обработки) соответственно на 10 и 5% [108]. Следовательно, обработка семян Силком способствовала снижению стресса, вызванного гипоксией, и более активному росту проростков.

Семена пшеницы в период прорастания могут быть подвержены дефициту влаги или переувлажнению,

или действию других стресс-факторов, снижающих полевую всхожесть, затрудняющих прорастание и рост проростков. Предпосевная обработка семян рассматриваемыми регуляторами роста повышает полевую всхожесть семян, стимулирует процессы прорастания семян, тем самым способствует ускоренному прохождению критического периода прорастания и хорошему развитию молодых растений. По мнению ряда исследователей [56, 109, 110], хорошо развитые растения озимой пшеницы, ушедшие в зиму с 3–5-ю побегами и содержащие достаточное количество сахаров, обладают высокой зимостойкостью. Полифункциональная роль сахаров в повышении устойчивости растений к гипотермии обусловлена, в первую очередь, их криопротекторным, антиденатурационным действием на белково-липидные компоненты мембран, осмотическим, препятствующим образованию межклеточного льда, метаболическим и резервным, а также их способностью препятствовать развитию окислительного стресса благодаря наличию антиоксидантных свойств [111, 112].

Показано, что предпосевная обработка семян препаратом Силк в условиях Краснодарского края повышала у разных сортов озимой пшеницы содержание сахаров в листьях, густоту стояния до и после перезимовки и выживаемость растений [52]. Результаты полевых опытов, проведенных на выщелоченном черноземе Ставропольского края, также демонстрировали более высокое суммарное содержание сахаров в листьях озимой пшеницы сорта Скифянка осенью (ноябрь) в варианте с предпосевной обработкой семян Силком (21.1%) по сравнению с контрольным вариантом (19.3%) и снижение убыли сахаров к весне (апрель) (12.4%) относительно контроля (11.1%), при этом отмечено увеличение числа перезимовавших (на 4.0%) и выживших растений за период посев–весна (на 4.4%) [40]. Повышение содержания сахарозы в узлах кушения озимой пшеницы сорта Московская 39 (на 1.2–1.5 абс.%) при совместном применении Силка с фунгицидами (Бенорад и Колосаль Про) установлено в условиях юга Нечерноземной зоны России [113]. В другой работе, проведенной в тех же почвенно-климатических условиях, эффект Силка на содержание сахаров в узлах кушения составил 1.5% и была обнаружена тесная прямая зависимость между содержанием сахарозы и сохранностью растений озимой пшеницы к началу весенней вегетации ($r = 0.8$) [114]. В условиях зоны темно-каштановых почв Ростовской обл. обработка препаратом Силк семян озимой пшеницы сорта Тарасовская 70 повышала число перезимовавших растений от числа взшедших осенью на 4.3–4.7% [54]. Установлено также положительное влияние обработки семян Силком на густоту стояния и выживаемость растений озимой пшеницы сортов Дон 93 и Безенчукская 380 после

перезимовки в условиях Волгоградской обл. [53]. Результаты рассмотренных работ свидетельствуют о повышении холодо- и морозоустойчивости растений озимой пшеницы при применении Силка и согласуются результатами ранее проведенных исследований [115, 116].

Установлен стимулирующий эффект препарата Биосил и экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* на содержание сахаров в узлах кушения озимой пшеницы сорта Краснодарская 99, выращиваемой в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, который в конце фазы осеннего кушения составил соответственно 1.0 и 2.7 абс.% [77]. Отмечено повышение выживаемости и сохранности растений разных сортов озимой пшеницы после перезимовки (на 1–6% в зависимости от сорта) под влиянием обработки семян Биосилом [55], и увеличение числа перезимовавших растений на 6–7% по сравнению с контролем при обработке Биосилом, Новосилом и Альфастимом [58]. Методом прямого промораживания растений и в полевых условиях установлено, что обработка семян озимой пшеницы сорта Офелия перед посевом препаратом Новосил позволяет повысить морозоустойчивость озимой пшеницы и число сохранившихся после перезимовки растений до 82% [117]. Положительный эффект обработки семян препаратом Новосил на зимостойкость озимой пшеницы [118] и на сохранность растений к весне [119] подтвержден и другими авторами.

В последние годы в связи с аридизацией климата особенно в южных регионах России вегетирующие растения пшеницы часто страдают от засухи, поэтому повышение их устойчивости к водному дефициту имеет важное значение в повышении продуктивности этой культуры. Засухоустойчивость пшеницы тесно связана с состоянием хлорофилло-белково-липидного комплекса, его устойчивостью, о которой можно судить по количеству прочносвязанных фракций хлорофилла. В условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края установлено повышение у разных сортов озимой пшеницы содержания прочносвязанных фракций хлорофилла после обработки посевов Силком и экстрактом из листьев *Silphium perfoliatum* в фазе колошения на фоне азотной подкормки карбамидом в дозе N30 в среднем за 3 года на 5–17 абс. % и, следовательно, потенциальной устойчивости к засухе [80, 81].

Влияние препарата Силк на засухоустойчивость и жаростойкость растений озимой пшеницы, выращиваемых в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, оценивали по изменению тургесцентного состояния тканей флаговых листьев после воздействия в первом случае обезвоживающего фактора, во втором — после воздействия

высокой температуры. Выполненные исследования показали, что при применении Силка в посевах разных сортов озимой пшеницы коэффициент стабильности признака засухоустойчивости, характеризующий отношение толщины листа после действия стрессора к исходной, в среднем за 2 года составил 0.84, жаростойкости — 0.52, тогда как в контроле — 0.73 и 0.44 соответственно. Повышение засухо- и жароустойчивости озимой пшеницы под влиянием Силка, по-видимому, обусловлено возрастанием водоудерживающих сил клеточных коллоидов, способствующих сохранению физиологической активности листьев [40]. Водоудерживающая способность листьев, как интегральный показатель водного режима, в вариантах с обработкой Силком и экстрактом из листьев *S. perfoliatum* посевов разных сортов озимой пшеницы была больше по отношению к контролю на 4–6 абс. % в зависимости от сорта [40, 81].

Одним из адаптивных механизмов, от которого зависит поддержание тургора и роста клеток в условиях засухи, является накопление осмотически активных веществ в тканях растений. Авторы работы показали [120], что в засушливых условиях Южного Предуралья предпосевная обработка семян Биосилом повышала осмотический потенциал клеточного сока листьев яровой пшеницы неустойчивого к засухе сорта Салават Юлаев на 67% по сравнению с контролем, в результате чего повышались засухоустойчивость и урожайность пшеницы.

О влиянии рассматриваемых *PPP* на водный режим посевов пшеницы можно судить также по коэффициенту водопотребления, под которым понимается суммарный расход воды культурой на формирование единицы товарной продукции, включая расход воды на транспирацию и испарение с поверхности почвы. При этом отмечена характерная особенность: коэффициенты водопотребления уменьшаются с улучшением агротехники и ростом урожайности. Анализ коэффициентов водопотребления пшеницы показывает, что при применении фиторегуляторов наблюдается снижение этого показателя, особенно на фоне внесения удобрений. Исследования, проведенные в условиях подзоны светло-каштановых почв Волгоградской обл. показали, что обработка семян и 2-кратная обработка препаратом Силк посевов яровой пшеницы сорта Камышенская 3 снижала коэффициент водопотребления на фоне без удобрений с 197 до 177, на фоне с применением удобрений в дозе N90P60 — с 156 до 141 мм/т и приводила к получению более высокого урожая [61]. Аналогичная закономерность установлена при применении Новосила в посевах этой культуры в сухостепной зоне Волгоградской обл. [121]. Было также установлено, что обработка Новосилом семян и посевов озимой пшеницы сорта Доминанта в фазах кущения и колошения

в условиях Ростовской обл. способствует уменьшению коэффициента водопотребления с 65.1 до 57.7, а при совместном использовании Новосила и удобрений в дозе N50P20 — до 51.9 мм/т [122]. Согласно данным, полученным при изучении действия Биосила на водный режим озимой пшеницы сорта Станичная в засушливых условиях светло-каштановых почв Калмыкии, в варианте с обработкой посевов Биосилом наблюдали возрастание доли почвенной влаги в суммарном водопотреблении растений [87]. Следовательно, результаты исследований свидетельствуют о рациональном использовании почвенной влаги растениями пшеницы при действии регуляторов роста.

На потребление почвенной влаги в значительной степени оказывает влияние развитие корневой системы растений. Было показано, что в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края в неблагоприятном по водообеспеченности 2012 г. регуляторы роста оказали положительное влияние на накопление сухой массы корневой системы в репродуктивный период развития озимой пшеницы сорта Краснодарская 99. Если сухая масса корней 10-ти растений в контроле составила 0.46 г, то в вариантах с обработкой Биосилом и экстрактом *Silphium perfoliatum* семян — соответственно 0.60 и 0.50 г, а при сочетании обработки семян и 2-кратного опрыскивания растений препаратами — соответственно 0.74 и 0.79 г [77].

Таким образом, проведенные исследования показали, что действие на вегетирующие растения пшеницы *PPP* на основе тритерпеноидов снижало негативные последствия засухи за счет эффективного использования воды, регулирования содержания осмопротекторов, повышения водоудерживающей способности и физиологической активности листьев, устойчивости хлорофилло-белково-липидного комплекса, хорошего развития корневой системы и в итоге приводило к повышению урожайности.

Рассматриваемые *PPP* повышали устойчивость пшеницы к токсическому стрессу, вызванному пестицидами. Известно, что применение фунгицидов оказывает вредное воздействие на посевные качества семян и развитие проростков. Например, обработка семян озимой пшеницы сорта Московская 39 фунгицидом Колосаль Про (пропиконазол + тебуконазол) вызывала снижение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян на 66 и 62% соответственно. При совместном применении препарата Силк с этим фунгицидом увеличивалась энергия прорастания, всхожесть семян, длина корня и побега, а также суточный прирост корней, их объем, общая и рабочая поверхность по сравнению с вариантом, где использовали только фунгицид [123]. Стимулирующее действие на посевные качества семян, начальные фазы роста пшеницы обнаружено также у Биосила [124–128]

и Новосила [89] при их совместном использовании с фунгицидами.

Общим интегральным процессом, характеризующим негативное действие стрессоров различной природы, включая пестициды, является усиление генерации АФК, приводящее к окислительному стрессу. На делянках с внесением фунгицида Колосаль Про в фазе выхода в трубку в листьях озимой пшеницы сорта Московская 39 отмечено резкое увеличение содержания МДА по отношению к контролю на 80%, образующегося в результате перекисного окисления липидов клеточных мембран под действием генерируемых при стрессе АФК. В вариантах с совместным применением Силка и фунгицида содержание МДА в фазе выхода в трубку в среднем за 3 года экспериментов значительно снизилось ($1.99 \cdot 10^{-2}$) по сравнению с вариантом, где фунгицид использовали без регулятора роста ($4.56 \cdot 10^{-2}$ мкМ/г сырой массы листьев), что указывает на антистрессовое действие препарата, позволяющее снизить стрессовую реакцию растений [129]. Выявлен также антиоксидантный эффект экстракта из корней женьшеня, содержащий ТГ. В результате однократной обработки посевов яровой пшеницы сорта МиС экстрактом в нормальных условиях (без применения фунгицидов) зарегистрировано снижение количества МДА в листьях растений в фазе выхода в трубку на 38 и в фазе колошения—цветения при 2- и 3-кратных обработках — соответственно на 30.0 и 21.5%. Активность пероксидазы увеличилась в фазе колошения—цветения при 2- и 3-кратных обработках на 11 и 14% соответственно [130].

Вместе с тем следует отметить, что обработка Новосилом растений яровой пшеницы сорта Арюна в фазе выхода в трубку в нормальных условиях приводила к снижению в зеленой массе удельной активности КАТ и особенно ПО (в 2.1 раза) по сравнению с контролем без обработки, что по мнению авторов, связано со снятием инфекционной нагрузки за счет непосредственного усиления защитных функций от болезней и неблагоприятных условий среды [131].

В модельных лабораторных опытах показан угнетающий эффект гербицидов различных химических групп на посевные качества семян и морфометрические показатели проростков озимой пшеницы. Совместное применение гербицидов с регулятором роста Силк снижало негативное воздействие гербицидов, которое выражалось в повышении энергии прорастания и всхожести семян [132]. При обработке семян озимой пшеницы сорта Московская 39 препаратами Магнум (метсульфурон-метил), Линтур (дикамба кислоты в виде натриевой соли + триасульфурон) и Банвел (дикамба кислоты в форме диметиламинной соли) воздушно-сухая масса растений снижалась соответственно на 12, 42 и 55% по сравнению с контролем без обработки, при сочетании обработки Линтура и Банвела с Силком снижение

этого показателя составило 34, при сочетании обработки Магнумом с Силком наблюдали увеличение относительно контроля на 5% [133]. Кроме этого, антистрессовый эффект Силка на действие этих гербицидов проявлялся в увеличении суточного прироста корней (до 52%), их объема (до 62%), снижении проницаемости клеточных мембран (до 30%) и повышении интенсивности излучения хлорофилльной вытяжки (до 6–9%) [129, 134]. Оценка антистрессового действия Биосила кондуктометрическим методом по электропроводности водной вытяжки из листьев разных сортов яровой пшеницы показала, что добавление регулятора роста к гербициду Велосити (тиенкарбазон-метил + йодосульфурон-метил-натрий + мефенпир-диэтил) нивелировала его токсическое действие на растения. Предпосевная обработка семян Биосилом также повышала устойчивость растений к этому гербициду [135].

Установлено также антистрессовое действие Биосила на растения озимой пшеницы при применении гербицидов [136]. Препараты Биосил и Новосил, используемые совместно с гербицидом в посевах яровой пшеницы, снижали его фитотоксический эффект, способствуя активному росту и развитию растений, и в разные по погодным условиям годы повышали или понижали биологическую эффективность гербицидов [137].

Согласно данным [138], использование Силка в посевах озимой пшеницы сорта Московская 39 без гербицидов снижало к уборке численность сорняков с 59 до 41 шт./м² и их воздушно-сухую массу с 44.8 до 30.2 г/м². Использование Силка в комплексе с гербицидом Линтуром не ослабляло, а наоборот, усиливало биологическую эффективность последнего, способствуя снижению общей биомассы сорняков на 86%, что объясняется уменьшением гербицидного действия на культуру и, как следствие, усилением ее конкурентноспособности в постгербицидный период. В работе [138] показано, что в результате 3-кратной обработки Силком посевов сорта яровой пшеницы Камышинская 3 на фоне применения удобрения в дозе N90P60 наблюдали снижение численности сорняков до 24.4 по сравнению с контролем (44.8–46.4 тыс. шт./га) и уменьшение их биомассы [139]. Установлено также, что применение гербицида Пума Супер 100 (феноксапроп-*n*-этил + мефенпир-диэтил) в посевах яровой пшеницы сортов Учитель и Прохоровка к уборке привело к гибели 47.7 и 49.7% сорняков соответственно, в то время как в варианте с обработкой семян Биосилом и посевов гербицидом этот показатель составил 56.2% [127]. Показано, что через 1 мес. после опрыскивания гербицидом Алмазис (метсульфурон-метил) посевов яровой пшеницы сорта Новосибирская 15 количество сорняков уменьшилось в 1.4 раза, а на фоне применения баковой смеси Алмазис + Биосил — в 1.9 раза. При этом количество растений пшеницы, наоборот, превысило

контроль на 4.8 и 12.8%, а их масса — соответственно на 13.1 и 31.1%. В результате доля сорного компонента в общей массе агрофитоценоза яровой пшеницы при использовании гербицида Алмазис снизилась по сравнению с контролем с 23.4 до 14.7%, а при применении баковой смеси Алмазис + Биосил — до 13.4% [140]. Отмечена также высокая эффективность баковой смеси Алмазис + Биосил и в посевах озимой пшеницы сорта Жемчужина Поволжья — гибель сорняков составила 96.7% [141]. При сильном засорении посевов озимой пшеницы рекомендуется использовать баковую гербицидную смесь, например Алмазис + Дикамба (3,6-дихлор-2-метоксибензойная кислотата) с добавлением Биосила. Присутствие Биосила в смеси повышало ее биологическую и хозяйственную эффективность [142]. Авторы рассмотренных работ отмечали более высокую урожайность пшеницы в вариантах с совместным использованием фиторегуляторов с гербицидами по сравнению с вариантами, где применяли только гербициды. Аналогичный вывод позволяют сделать исследования [124], которые показали большую эффективность комплексного использования Силка и Биосила с гербицидами на урожайность и качество зерна разных сортов яровой пшеницы. Применение Биосила с гербицидом в большей степени повышало полевую всхожесть, сохранность растений, их общую выживаемость и урожайность яровой пшеницы сорта Учитель по сравнению с использованием только Биосила [41]. Продемонстрирована целесообразность обработки препаратом Новосил семян и посевов пшеницы в фазе кушения для повышения фитоценотической роли и конкурентоспособности пшеницы по отношению к вегетирующим сорнякам, что приводило к увеличению урожайности по сравнению с контролем, где биопрепараты не применяли [143].

Фитопротекторное действие тритерпеноидов и ТГ, как естественных факторов защиты растений от различного рода патогенов, связывается с антигрибными и антимикробными свойствами этих соединений [19] и выявленной в последние годы их способностью индуцировать фитоиммунитет [22]. Изучали механизм антигрибного действия ТГ, который включает их взаимодействие со стеринами [144], и, как показали дальнейшие исследования, с фосфолипидами и белками клеточных мембран, приводящее к нарушению их проницаемости, утечки низкомолекулярных клеточных метаболитов и ингибированию роста грибов. Избирательность действия рассматриваемых соединений на грибы связывают с присутствием стерина в грибных мембранах, а также с метаболическими изменениями в составе жирных кислот мембранных фосфолипидов [145].

Исследованиями *in vitro* и в естественных условиях установлено антифунгальное действие препаратов, содержащих тритерпеновые соединения, на фитопатогенные грибы, возбудители различных

заболеваний пшеницы. Препарат Силк (0.5%) и экстракт из листьев *Silphium perfoliatum* L. (0.5%) в условиях *in vitro* оказали примерно одинаковое ингибирующее действие на рост мицелия колонии *Fusarium* spp. (на 5-е сут — 43, на 7-е — 29%) [146]. Выявлена также *in vitro* фунгицидная активность суммы ТГ из листьев *S. perfoliatum* в отношении возбудителя полосатой пятнистости ячменя и пшеницы *Drechslera graminea* (Rabenh. ex Schltdl.) S. Ito, синоним — *Pyrenophora graminea* S. Ito et Kurib. Введение препарата (0.1%) в питательную среду (картофельно-глюкозный агар) тормозило рост 7-суточной культуры гриба на 74% [147]. Установлено также фунгистатическая активность этого препарата против видов *Rhizopus*, *Trichothecium* и *Aspergillus* [148].

Отмечено снижение семенной инфекции, вызываемой грибами *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp. на 41.3–69.4% [149], а также грибами *Fusarium* spp., *Mucor* spp. и *Alternaria* spp. — на 62, 44, и 62% соответственно при протравливании семян препаратом Силк [150]. Установлен ингибирующий эффект Силка (0.5%) на рост мицелия чистой культуры грибов *Typhula ischikariensis* S. Imai (возбудитель серой снежной плесени) и *Fusarium nivale* Fries, синоним *Microdochium nivale* Samuels et Hallet (возбудитель розовой снежной плесени). В полевых условиях обработка препаратом Силк растений озимой пшеницы сорта Московская 39 сдерживала заражение растений тифулезом на 30 сут, при обработке семян Силком и растений фунгицидом Альто Супер повышалась густота стояния растений, их сухая масса, содержание в листьях хлорофилла, снижалась распространенность болезни [151]. При внесении Силка в питательную среду в концентрации, применяемой в поле, наблюдали достоверное уменьшение диаметра колоний гриба *Septoria tritici* Desm. (возбудитель септориоза) на 33%, в полевых условиях 2-кратная обработка Силком растений озимой пшеницы сорта Московская 39 снижала интенсивность заражения септориозом [152].

Разработан способ борьбы с фитопатогенными грибами зерновых культур, включающий обработку Силком семян (2–5 г/т) и растений в фазе кушения (4–5 г активного вещества/га). На ряде примеров было показано, что предпосевная обработка семян препаратом позволила повысить устойчивость сорта озимой пшеницы Югтина к корневым гнилям на 47.6–51.8, мучнистой росе — на 67.2, септориозу — на 46.4%. Опрыскивание вегетирующих растений Силком снижало заболеваемость озимой пшеницы бурой ржавчиной на 7, мучнистой росой — на 8, септориозом — на 27.3, а также снижало заболеваемость яровой пшеницы бурой ржавчиной — на 23.3, септориозом — на 31.4%. При обработке растений озимой пшеницы сорта Офелия в производственных условиях биологическая эффективность Силка по отношению к мучнистой росе составила 40.3–40.6, против

пиренофорозной пятнистости листьев — 38.0–38.6% [153]. В работе [154] отмечали, что обработка Силком повышала устойчивость яровой пшеницы сорта Кантегировская 89 к корневым гнилям, пыльной и твердой головне, снижала заболеваемость септориозом на 45–65, бурой ржавчиной — на 50–67%. По данным [84], биологическая эффективность Силка (обработка семян) против бурой ржавчины, мучнистой росы и септориоза составила соответственно 42,1, 28,7, 36,4%. Эффективность Силка против основных заболеваний пшеницы подтверждена и другими исследованиями [40, 52, 155–160] и установлена целесообразность его совместного применения с фунгицидами [84, 113], причем отмечена эффективность совместного использования Силка с протравителями в половинной дозе [53, 84].

В работе [161] предложили способ борьбы с фитопатогенными грибами, включающий использование препарата Биосил в комплексе с одним из синтетических фунгицидов, содержащим в качестве действующего вещества тебуконазол либо карбоксин, тирам, флутриафол, тиабендазол, триконазол в определенном соотношении. Было показано, что добавление Биосила в концентрации 0.005% (50 мл/т), фунгицидов Витавакса 200 ФФ (карбоксин + тирам) — 0.15% (1.5 л/т) и Раксила (тебуконазол) 0.025% (0.25 л/т), а также баковых смесей Биосила с этими фунгицидами в среду существенно ингибировало рост мицелия *Fusarium oxysporum* и *Bipolaris sorokiniana*, возбудителей корневых гнилей зерновых культур. Наибольший эффект отмечен для Витавакса 200 ФФ и особенно его баковой смеси с Биосилом, в последнем случае рост мицелия патогенов за весь период наблюдений был полностью подавлен. В полевых условиях было установлено, что добавление препарата Биосил к синтетическим протравителям усиливает действие последних против основных видов корневых гнилей и особенно против головневых заболеваний пшеницы (до 100%) при уменьшении норм их расхода, повышает урожайность и качество зерна. Широкие испытания Биосила как биофунгицида и иммунопротектора при обработке семян и вегетирующих растений пшеницы подтвердили его положительное действие против распространения и развития корневых гнилей, мучнистой росы, септориоза, бурой ржавчины [162–168]. При применении Биосила в композиции с фунгицидами наблюдали усиление действия последних против инфекций, повышение урожайности по сравнению с контролем и с раздельным использованием препаратов [125, 169–172]. В ряде работ отмечено, что биологическая эффективность Биосила против септориоза и бурой ржавчины уступает синтетическим фунгицидам, но обеспечивает значительную прибавку урожая за счет стимулирующего эффекта препарата и рекомендовано его использование

при умеренном развитии болезней [162, 173–175]. Имеются данные о достаточно высокой биологической эффективности Биосила против снежной плесени (55–70%) [176], (99.1%) [58], и твердой головни: на озимой пшенице — 67–80, на яровой — 68–84%, что позволило рекомендовать этот препарат для среднеустойчивых к твердой головне сортов пшеницы, поскольку он дает существенную прибавку урожая [177]. Показана также эффективность протравливания семян смесью Биосила и фунгицида Феразим против твердой головни озимой пшеницы [178]. Установлено, что в годы интенсивного развития септориоза колоса опрыскивание Биосилом посевов разных сортов озимой пшеницы в разных фазах вегетации способствовало увеличению массовой доли клейковины в зерне до 4.7–5.9% [179]. Обеззараживание Биосилом семян твердой яровой пшеницы повышало урожайность зерна, прирост которой составил 0.49 т/га [180]. Высокую биологическую эффективность против корневых гнилей озимой пшеницы показал Новосил — 62.9%. Обработка препаратом семян озимой пшеницы сорта Донской сюрприз также снижала развитие болезни с 18 до 7% [181]. Обработка Новосилом семян и 2-кратная обработка растений яровой пшеницы подавляла заболеваемость корневыми гнилями на 24.0–65.7, септориоза — на 33.6–75.5, гельминтоспориоза — на 3.3–70.4, бурой ржавчины — на 49.3–70.4% в зависимости от кратности обработок [182]. Положительный эффект Новосила против корневых гнилей отмечали и другие авторы [183, 184]. Новосил показал также высокую эффективность против семенной инфекции (59.0%) и превосходил по действенности другие биопрепараты [58]. Развитие листовой бурой ржавчины на сортах яровой пшеницы сортов Арюна и ДальГАУ-1 при применении Новосила составило 24.4 и 27.5, в контроле — 33.6% (биологическая эффективность — 18.2 и 18.7%), развитие фузариоза колоса соответственно — 3.4 и 5.4, в контроле — 4.7–7.7% (биологическая эффективность 29.9 и 27.7%) [185]. Показана возможность совместного применения Новосила с протравителем семян Калфуго Супер в половинной дозе против гельминтоспориоза и бурой ржавчины [186]. Эффективность против снежной плесени, корневой гнили, мучнистой росы и септориоза озимой пшеницы показал препарат Вэрва [187].

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВЕ ТРИТЕРПЕНОИДОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Анализ данных, приведенных в рассмотренных выше исследованиях, а также работах по изучению влияния препарата Силк на продуктивность озимой

пшеницы [188–194] показал, что применение препарата обеспечивает прибавку урожайности зерна от 0.11 до 0.76 т/га (от 2.6 до 20.5%) в зависимости от почвенно-климатических условий региона возделывания, погодных условий, биологических особенностей сортов, способов внесения препарата, а также фона минерального питания и использования средств защиты растений. Установлено снижение содержания тяжелых металлов в соломе и зерне озимой пшеницы при 2-кратном применении Силка на растениях: содержание свинца в соломе и зерне уменьшилось соответственно в 1.6–1.8 и 1.7, кадмия – в 1.7 и 1.8 раза [195].

Применение Силка в посевах яровой пшеницы повышало урожайность зерна по сравнению с контролем на 0.12–0.75 т/га [75, 154, 196], причем посевы созревали на 3–4 сут раньше, чем в контроле [154]. При комплексном использовании удобрений и Силка урожайность яровой пшеницы по сравнению с контролем (без применения удобрений и Силка) повышалась на 22.0–31.3% [75, 196].

Проблема улучшения технологических и хлебопекарных свойств зерна пшеницы стоит в настоящее время особенно остро в связи с наметившейся в последние годы устойчивой тенденцией к снижению качества производимого в стране зерна [197]. Одним из необходимых условий получения высококачественного зерна пшеницы является проведение некорневых азотных подкормок в сочетании с использованием *PPP* [198].

Применение Силка в посевах озимой и яровой пшеницы как на повышенном уровне азотного питания, так и без использования азотных удобрений оказывала существенное влияние на качественные показатели зерна. Под влиянием препарата содержания протеина (белка) в зерне повышалось на 0.4–1.0% и сырой клейковины – на 1.0–4.0 абс.%, в некоторых работах отмечены и более высокие показатели повышения содержания клейковины [188, 193], приводят данные о снижении показателя ИДК на 2–15 ед. [52, 81, 95, 192, 196]. Кроме того, при использовании Силка наблюдали повышение стекловидности (на 1.0–6.0%), натуры зерна (на 9.0–23.0 г/л), объемного выхода хлеба (на 15.0–30 см³) [40, 52, 95, 196].

Проанализированные выше работы, а также результаты других исследований свидетельствуют о схожем с Силком действию Биосила [199–209], Новосила [210–215] и Альфастима [215–223] и Вэрва [187, 224] на урожайность зерна пшеницы и его качество. Авторы работ отмечают повышение под влиянием исследованных препаратов элементов структуры урожая: продуктивной кустистости, длины колоса, числа зерен в колосе, массы зерна с колоса, массы 1000 зерен.

В ряде исследований показано повышение эффективности использования удобрений при применении *PPP*, что позволило получить значительно более

высокую прибавку урожая зерна с улучшенным качеством по сравнению с контролем (без удобрений и *PPP*) [85, 90, 200]. Вместе с тем показано также, что эффект ряда *PPP*, включая Биосил, на урожайность озимой пшеницы, размещенной на неудобренном агрофоне был больше, чем на фоне, где вносили удобрения [207]. Установлена большая эффективность использования Биосила в сочетании с микроэлементами. В вариантах с совместной обработкой семян Биосилом, В, Zn и Mo уровень урожайности зерна твердой яровой пшеницы сорта Оренбургская 10 повысился соответственно на 16.2, 14.6 и 13.8% по отношению к контролю и превысил уровень урожайности зерна в варианте с обработкой семян только Биосилом (8.6% к контролю). Наибольшее повышение технологических качеств зерна наблюдали при обработке семян смесями Биосила с Mn, Cu и Co [225].

Показана эффективность действия Новосила на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Тулайковская 10 при сочетании предпосевной обработки семян препаратом с ресурсосберегающей зяблевой обработкой почвы [226], установлена также прибавка урожайности и улучшение качества зерна яровой пшеницы сорта Дарья при обработке препаратом растений в фазе кущения и колошения в условиях применения технологии No-Till [227].

Сравнительное изучение действия препаратов Новосил, Биосил и Альфастима показало, что в условиях Республики Адыгея максимальный урожай зерна был получен при применении препарата Новосил в посеве озимой пшеницы сорта Гром, прибавка урожайности составила 0.74 т/га, или 13.0%, но при этом лучшие качественные показатели зерна отмечены при действии Биосила и Альфастима: содержание белка повысилось относительно контроля на 0.6–1.0, клейковины – на 4%, показатель ИДК снизился на 13–16 ед., натура зерна повысилась на 26–30 г/л [91]. В условиях предгорной зоны Дагестана также наибольший уровень урожайности озимой пшеницы сортов Гром и Таня достигнут при обработке посевов Новосилом [92]. В результате предпосевной обработки семян озимой пшеницы сорта Алексеевич рассматриваемыми препаратами в условиях центральной зоны Ростовской обл. наиболее высокие показатели урожая и элементов его структуры отмечены при применении Биосила [58]. Биосил также проявил несколько больший эффект на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Борвий по сравнению с препаратом Альфастим при обработке посевов в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края [219].

Рассматриваемые фиторегуляторы при нанесении на растения пшеницы оказывали также влияние на физиолого-биохимические процессы в созревающем зерне. В работе [228] показано, что в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского

края в отдельные годы под влиянием обработок Силком на фоне применения минеральных удобрений в белке зерна озимой пшеницы сорта Русса отмечено увеличение доли водо- и солерастворимых белков — альбуминов и глобулинов. При дозе удобрения N30P90K45 + N30 (колошение) содержание этих белков в контрольном варианте составило 18.1–20.4%, в то время как в вариантах с применением Силка — 19.3–23.2%. В этих вариантах наблюдали увеличение содержания клейковины в зерне после его 3-месячного хранения. По данным [229], обработка Новосилом посевов яровой пшеницы сорта Иволга в фазе колошения на фоне внесения азота в дозе N150 в условиях Центрального р-на Нечерноземной зоны увеличивала содержание водорастворимых и неэкстрагируемых белков, но несколько снижала концентрацию глютелинов. В этом же исследовании показано, что под действием Новосила увеличивалась общая амилазная активность в зерне (75.9–79.1) по отношению к контролю (73.9–73.2 мг гидролизованного крахмала/ч/г зерна) за счет повышения главным образом активности β -амилазы. Отмечено значительное повышение (до 2.2 раза) общей амилазной активности зерна яровой пшеницы сорта Арюна под действием обработок растений Новосилом и увеличение в зерне в состоянии покоя активности каталазы и пероксидазы [127]. Зерновки с повышенным уровнем общей амилазной активности, как известно, обладают более высокими посевными качествами [40]. Эти данные подтверждаются исследованиями, показавшими, что обработка посевов яровой пшеницы Силком на фоне применения минеральных удобрений (N30P60K30) приводит к получению от материнских растений семян, обладающих более высокими посевными качествами и урожайными свойствами (энергия прорастания семян превысила контроль на 3.2, лабораторная всхожесть — на 4.2%) [73], а при применении Биосила эти показатели составили соответственно 3.9 и 4.4% [127].

Таким образом, применение *PPP* на основе тритерпеновых кислот обеспечивало существенную прибавку урожайности и улучшение качественных показателей зерна пшеницы, а также получение семенного материала с высокими посевными и урожайными свойствами. Во многих работах отмечена высокая экономическая эффективность использования этих препаратов при выращивании пшеницы: высокая рентабельность и условно чистый доход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в настоящем обзоре данные показали, что тритерпеноидам принадлежит важная биологическая роль в защите растений от вредных организмов. Установлено участие этих соединений в развитии корней, спецификации клеток корня и образовании корневых волосков. В качестве компонентов мембран, кутикулы и кутикулярного воска тритерпены

выполняют структурную и регуляторную функцию, т.е. могут влиять как на транспорт фитогормонов и накопление их в клетках, так и на экссудацию метаболитов, тем самым участвовать в сборке и становлении ризосферного микробиома, а также непосредственно модулировать корневые бактерии.

При экзогенном воздействии тритерпеновые соединения и регуляторы роста на их основе оказывают на растения пшеницы полифункциональное действие: рострегулирующее, антистрессовое, иммунопротекторное и фунгицидное. Особенность фиторегулирующей активности тритерпеновых соединений, как было показано на примере тритерпеновых гликозидов (ТГ), заключается в способности проявлять в специфических биотестах эффекты, характерные для фитогормонов: ауксинов, гиббереллинов и цитокининов. Механизм рострегулирующего действия тритерпеновых регуляторов роста предположительно может реализовываться путем модулирования действия фитогормонов за счет влияния на их транспорт, внутриклеточное содержание и (или) на передачу гормональных сигналов. Регулирующее действие ТГ на клетки может быть обусловлено также их мембранотропной активностью, в основе которого лежит механизм ионной проницаемости.

Введенные ТГ в семена пшеницы путем их обработки регуляторами роста растений (*PPP*) на основе тритерпеноидов стимулируют прорастание семян, ускоряя поглощение ими воды, увеличивая в них ферментативную активность, скорость метаболических процессов и деления клеток, в результате чего повышается всхожесть и энергия прорастания семян. Под влиянием рассматриваемых *PPP* ускоряется рост и развитие корневой системы, увеличивается ее масса, происходит более активное образование побегов кушения. Опрыскивание препаратами на основе тритерпеноидов растений пшеницы на разных этапах онтогенеза позволяет активизировать процессы фотосинтеза, за счет повышения содержания хлорофилла и каротиноидов стимулировать фотосинтетическую деятельность и азотный метаболизм.

Благодаря высокой антистрессовой активности тритерпеновые *PPP* повышают устойчивость растений пшеницы к стрессам, вызванным низкими или высокими температурами, гипоксией, засухой, токсическим действием минеральных солей и пестицидов. Воздействие этих препаратов на растения в условиях абиотических стрессов приводит к усилению важных для выживания защитных реакций, выражающихся в повышении активности антиоксидантных ферментов, снижении количества МДА, повышении содержания хлорофилла, устойчивости хлорофилло-белково-липидного комплекса, увеличении содержания осмотически активных веществ и др., в результате чего повышается адаптационный потенциал растительного организма, нормализуются процессы роста,

функционирования фотосинтетического аппарата, водного обмена и т.п. Антистрессовое действие *PPP* на основе тритерпеноидов, по-видимому, проявляется путем взаимодействия с антистрессовыми гормонами, такими как АБК, этилен и др. и активирования генов стрессоустойчивости.

Важный вклад в комплексное положительное действие рассматриваемых *PPP* на растения пшеницы вносит их иммунопротекторная (по-видимому, опосредованная салициловой кислотой) и антигрибная активность. Применение этих препаратов в посевах пшеницы позволяет снизить заболеваемость растений корневыми гнилями, мучнистой росой, снежной плесенью, септориозом, пиренофорозом, бурой ржавчиной на 30–60%. Высокая биологическая эффективность препаратов установлена против головневых заболеваний пшеницы (до 84%).

Применение тритерпеновых *PPP* в сочетании с химическими средствами защиты растений позволяет, с одной стороны, повысить устойчивость растений к фитопатогенам, конкурентноспособность по отношению к сорнякам, уменьшить стресс от применения пестицидов, с другой, — снизить норму расхода фунгицидов за счет повышения эффективности их использования, получить экологически более безопасную сельскохозяйственную продукцию, снизить ее себестоимость, а также уменьшить пестицидную нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, рострегулирующие препараты на основе тритерпеновых соединений являются эффективными средствами, стимулирующие рост и развитие растений пшеницы, повышающие их устойчивость к стрессам и болезням, увеличивающие урожайность зерна (до 30%) и улучшающие его качество. Тритерпеноиды и их гликозиды являются перспективной группой природных физиологически активных соединений для создания на их основе новых *PPP*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прусакова Л.Д., Малеванная Н.Н., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений с антистрессовыми и иммунопротекторными свойствами // *Агрохимия*. 2005. № 11. С. 76–86.
2. Рябчинская Т.А., Зимица Т.В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // *Агрохимия*. 2017. № 12. С. 62–92.
3. Шаповал О.А., Можарова И.П. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве // *Защита и карантин раст.* 2019. № 4. С. 9–14.
4. Bhupenchandra I., Devi S.H., Basumatary A., Dutta S., Singh L.K., Kalita P., Bora S.S., Devi S.R., Saikia A., Sharma P. Biostimulants: potential and prospects in agriculture // *Inter. Res. J. Pure Appl. Chem.* 2020. V. 21(14). P. 20–35.
5. Шульц Э.Э., Ралдугин В.А., Волчо К.П., Салахутдинов Н.Ф., Толстиков Г.А. Растительные метаболиты флоры Сибири. Химические превращения и возможности практического использования // *Усп. химии*. 2007. Т. 76. Вып. 7. С. 707–723.
6. Ралдугин В.А., Друганов А.Г., Климов В.П., Шубин А.Н., Чекуров В.М. Способ получения биологически активной суммы тритерпеновых кислот: Пат. 2108803, РФ // Б.И. 1998. № 11.
7. Кукина Т.П., Баяндина И.В., Дымина Е.В. Способ получения биологически активной суммы тритерпеновых кислот древесной зелени пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) путем экстракции бинарным экстрагентом: Пат. 2613463, РФ // Б.И. 2017. № 3.
8. Скрипова Н.Н., Кучин А.В., Хушкайнен Т.В., Кучин В.А. Регулятор роста растений с фунгицидным действием “Вэрва”: Пат. 2298327, РФ. // Б.И. 2007. № 13.
9. Альфастим. URL: <https://polydonagro.com/alfastim>
10. Камирная А.М., Мальцев К.А., Русаков С.Г. Способ регулирования роста и развития растений: Пат. 2657743, РФ // Б.И. 2018. № 17.
11. Давидянц Э.С., Нешин И.В. Способ регулирования роста растений пшеницы: Пат. 2200409, РФ // Б.И. 2003. № 8.
12. Давидянц Э.С. Тритерпеновые гликозиды как регуляторы роста растений: потенциал и перспективы использования // *Химия раст. сырья*. 2023. № 1. С. 5–34.
13. Чекуров В.М., Сергеева С.И., Козлов В.Е., Титков И.П. Способ регулирования роста растений пшеницы: Пат. 2082296, РФ // Б.И. 1997. № 6.
14. Тареев А.И., Багдасаров В.Р., Казаченко А.А. Способ регулирования роста и развития зерновых культур: Пат. 2225100, РФ // Б.И. 2004. № 3.
15. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Прилож. к журн. “Защита и карантин раст.”. М.: Колос, 2022. С. 778–787.
16. Племенков В.В. Химия изопреноидов. Гл. 2. Классификация, номенклатура и строение изопреноидов // *Химия раст. сырья*. 2005. № 2. С. 63–68.
17. Cardenas P.D., Almeida A., Bak S. Evaluation of structural diversity of triterpinoids // *Front. Plant Sci.* 2019. № 10. P. 1523.
18. Пасешниченко В.А. Биосинтез и биологическая активность растительных терпеноидов и стероидов // *Итоги науки и техн.* 1987. Т. 25. 196 с.
19. Moses T., Papandopoulou K.K., Osbourn A. Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivatives // *Crit.*

- Rev. Biochem. Molec. Biol. 2014. V. 49. № 6. P. 439–462.
20. Wang C.M., Chem H.T., Li T.C., Weng J.H., Jhan Y.L., Lin Sh.-X., Chou Ch.-H. The role of pentacyclic triterpenoids in the allelopathic effects of *Alstonia sholaris* // J. Chem. Ecol. 2014. V. 40. P. 90–98.
 21. Faizal A., Geelen D. Saponins and their role in biological processes in plants // Phytochem. Rev. 2013. V. 12. P. 877–893.
 22. Trda L., Janda M., Mackova D., Pospichalova R., Dobrev P.I., Burketova L., Matusinsky P. Dual mode of the saponin aescin in plant protection: antifungal agent and plant defense elicitor // Front. Plant Sci. 2019. V. 10. P. 1448.
 23. Bai Y., Fernandez-Calvo P., Ritter A., Huang A.C., Bicalho K.U., Karady M., Pauwels L., Buyst D., Nja M., Ljung K. Modulation of *Arabidopsis* root growth by specialized triterpenes // New Phytol. 2021. V. 230. Iss. 1. P. 228–243.
 24. Huang A.C., Jiang T., Liu Y.-X., Bai Y.-C., Reed J., Qu B., Goossens A., Nützmann H.-W., Bai Y., Osbourn A. A specialized metabolic network selectively modulates *Arabidopsis* root microbiota // Science. 2019. 364 (6440): eaau6389.
 25. Колмыкова Т.С., Лукаткин А.С. Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов // Агрохимия. 2012. № 1. С. 83–94.
 26. Мишина О.С., Белопухов С.Л., Ющенко Ю.А. Применение биорегуляторов в интенсивных агротехнологиях выращивания гречихи // Изв. вузов. Прикл. химия и биотехнол. 2016. Т. 6. № 3. С. 72–80.
 27. Давидянец Э.С. Биохимические аспекты фиторегулирующего действия тритерпеновых гликозидов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: мат-лы VIII Всерос. конф. / Под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. Барнаул: Изд-во Алтай. гос. ун-та, 2020. С. 146–148.
 28. Rahman A., Tsurumi S.A. The unique auxin influx modulator chromosaponin I: a physiological overview // Plant Tissue Cult. 2002. V. 12. P. 181–194.
 29. Rahman A., Tsurumi S.A., Amakawa T., Soga K., Hoson T., Goto N., Kamisaka S. Involvement of ethylene and gibberellin signaling in chromosaponin I – induced cell division and cell elongation in the roots of *Arabidopsis* seedlings // Plant Cell Physiol. 2000. V. 41(1). P. 1–9.
 30. Rahman A., Ahamed A., Amakawa T., Goto N., Tsurumi S. Chromosaponin I specifically interacts with AUX1 protein in regulating the gravitropic response of *Arabidopsis* roots // Plant Physiol. 2001. V. 125(2). P. 990–1000.
 31. Лихацкая Г.Н. Механизмы взаимодействия тритерпеновых и стероидных гликозидов с липидными мембранами: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Владивосток: ТИБОХ ДВЦ РАН, 2006. 23 с.
 32. Тариков С., Тимбекова Н.К., Абубакиров Н.К., Коблов Р.К. Рострегулирующая активность тритерпеновых гликозидов, выделенных из корней люцерны (*Medicago sativa*) // Узб. биол. журн. 1988. № 6. С. 24–26.
 33. Давидянец Э.С. Рострегулирующая активность тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae) // Раст. ресурсы. 2006. Т. 42. Вып. 1. С. 127–136.
 34. Давидянец Э.С., Нешина Л.П., Нешин И.В. Влияние тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L. на рост проростков гороха и пшеницы // Раст. ресурсы. 2001. Т. 37. Вып. 3. С. 93–96.
 35. Давидянец Э.С. Влияние обработки семян тритерпеновыми гликозидами на активность пероксидазы, ИУК-оксидазы и полифенолоксидазы в проростках пшеницы // Химия раст. сырья. 2013. № 4. С. 225–231.
 36. Полевой В.В. Фитогормоны. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 248 с.
 37. Стригина Л.И., Ходаковская М.В., Булгаков В.П. Влияние некоторых тритерпеновых и стероидных соединений на рост каллусных культур *Panax ginseng* С.А. Меу. // Раст. ресурсы. 1993. Т. 24. Вып. 4. С. 96–99.
 38. Карначук Р.А., Дорофеев В.Ю., Гвоздева Е.С., Головацкая И.Ф., Чуринов А.А., Сусло Н.И., Медведева Ю.В. Влияние физиологически активных соединений на рост и уровень тритерпеновых сапонинов и флавоноидов клеточной культуры *Atragea speciosa* Weinm. // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2008. № 3. С. 48–54.
 39. Обручева Н.В., Синькевич И.А., Летягина С.В., Новикова Г.В. Особенности водного режима при прорастании семян // Физиология растений. 2017. Т. 64. № 4. С. 311–320.
 40. Иващенко И.Н. Влияние регуляторов роста на устойчивость к стрессовым факторам, урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь: Став. ГАУ, 2010. 27 с.
 41. Титков В.И., Безуглов В.В., Чуманова Г.Я., Ерохин И.И. Эффективность регуляторов роста, гербицидов и некорневых подкормок азотом в ресурсосберегающих технологиях выращивания яровой пшеницы в степной зоне Оренбуржья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2011. № 2(30). С. 34–35.
 42. Давидянец Э.С. Влияние очищенной суммы тритерпеновых гликозидов и обогащенного ими экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* на прорастание семян озимой пшеницы и активность

- в них каталазы // Химия раст. сырья. 2021. № 2. С. 353–360.
43. Давидянц Э.С. Влияние тритерпеновых гликозидов на активность α - и β -амилаз и содержание суммарного белка в проростках пшеницы // Прикл. биохим. и микробиол. 2011. Т. 47. № 5. С. 530–536.
 44. Давидянц Э.С. Влияние суммы тритерпеновых гликозидов из *Silphium perfoliatum* на некоторые показатели метаболизма проростков пшеницы // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: мат-лы IX Международ. симп. М.: РУДН, 2011. Т. 2. С. 58–62.
 45. Efremova Y.B., Lopachev N.A. The influence of growth stimulators on biochemical processes of winter wheat plants // Rus. Agricult. Sci. Rev. 2015. V. 5. № 5(1). P. 73–79.
 46. Кошеляева И.П. Оценка биологически активных препаратов Агат 25 и Новосил на пшенице // селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур: сб. мат-лов VIII Всерос. научн.-практ. конф. Пенза, 2004. С. 186–188.
 47. Давидянц Э.С. Влияние очищенной суммы тритерпеновых гликозидов и обогащенного ими экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* L. на рост и активность нитратредуктазы в проростках озимой пшеницы // Химия раст. сырья. 2019. № 4. С. 441–448.
 48. Garg S.K. Role and hormonal regulation of nitrate reductase activity in higher plants: a review // Plant Sci. Feed. 2013. V. 3. P. 13–20.
 49. Карнова Г.А. Влияние регуляторов роста на ранние этапы развития семян пшеницы и ячменя // Энергосберегающие технологии в растениеводстве: сб. мат-лов Всерос. научн.-практ. конф. Пенза: РИО ПГСХ, 2005. С. 45–46.
 50. Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л., Верхотуров В.В., Лысак В.И. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян // Изв. вузов. Прикл. хим. и биотехнол. 2013. № 5. С. 61–66.
 51. Рогожин В.В. Роль пероксидазы в механизмах покоя и прорастания зерновок некоторых злаковых культур // Изв. ТСХА. 2010. № 4. С. 22–31.
 52. Шаповал О.А. Биологическое обоснование использования регуляторов роста растений в технологии выращивания озимой пшеницы. М.: ВНИИА, 2005. 327 с.
 53. Дроздов И.В., Аксенов М.П. Изменение урожая и качества зерна озимой пшеницы после обработки регуляторами роста и агрохимикатами // Экологические аспекты использования земель в современных экологических формациях: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Волгоград, 2017. С. 165–170.
 54. Черноморов Г.В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от обработки биопрепаратами в условиях темно-каштановых почв Ростовской области // Биологизация земледелия: перспективы и реальные возможности: сб. мат-лов Международ. научн.-практ. конф. Воронеж, 2019. С. 141–145.
 55. Халгаева К.Е. Урожайность озимой пшеницы на светло-каштановых почвах при применении БАВ и удобрений // Вестн. ин-та комплекс. исслед. аридных территорий. 2011. № 2(23). С. 66–70.
 56. Авдеев А.П. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от норм высевы и обработки биопрепаратами в условиях Ростовской области // Международный. научн.-исслед. журн. 2015. № 10(41). Ч. 3. С. 12–14.
 57. Мясникова Л.А., Первушина А.Н., Мусеева К.В. Влияние регуляторов роста на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян озимых сортов пшеницы // Мир инноваций. 2021. № 2. С. 22–27.
 58. Зеленская Г.М., Шашлов В.О. Действие биопрепаратов на урожайность озимой пшеницы // Научн.-агроном. журн. 2022. № 2(117). С. 44–49.
 59. Ефремова Ю.В., Амелин П.А., Лопачев Н.А. Изучение влияния стимуляторов роста на начальные стадии развития озимой пшеницы // Вестн. Орлов. ГАУ. 2014. № 6. С. 22–28.
 60. Калмыкова Е.В., Калмыкова О.В. Влияние регуляторов роста на посевные качества семян озимой пшеницы // Научное обоснование сопровождения инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы: мат-лы 65-й Международ. научн.-практ. конф. Рязань: Рязан. агротехнолог. ун-та, 2014. Ч. 1. С. 149–153.
 61. Чернышков В.В. Влияние биостимуляторов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в подзоне светло-каштановых почв Волгоградской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. п. Персиановский: ДонГАУ, 2008. 22 с.
 62. Мельникова О.В., Торики В.Е., Клименков Ф.И., Симонов Д.А. Природные регуляторы роста в биологическом земледелии // Аграрная наука – сельскому хозяйству: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. Курск, 2009. Ч. 3. С. 286–294.
 63. Кирсанова Е.В., Цуканова З.Р., Мусалатова Н.Н. О перспективах предпосевной обработки регуляторами роста семян яровой пшеницы в Орловской области // Вестн. Орлов. ГАУ. 2008. № 12(3). С. 21–23.
 64. Шатохин А.В., Чернова Л.И., Кирсанова Е.В. Применение регулятора роста Биосил для обработки семян яровой пшеницы // Актуальные направления развития сельскохозяйственной науки: сб. мат-лов научн.-практ. конф. М., 2008. С. 178–180.
 65. Душкин С.А., Лукьянцев В.С., Глинушкин А.П., Соловьев А.А., Белошапкина О.О., Машенков М.И., Зоров А.А. Влияние химических и биологических

- препаратов на всхожесть семян и выживаемость *Triticum aestivum* L. // Вестн. Орлов. ГАУ. 2012. № 6(12). С. 30–33.
66. Мигранов Р.Р., Кадилов Р.К. Всхожесть семян сортов яровой пшеницы в зависимости от действия биопрепаратов // Научные инновации — аграрному производству: мат-лы Международ. науч.-практ. конф. Омск: Омск. ГАУ им. П.А. Столыпина, 2018. С. 252–254.
 67. Савицкая К.Ю. Особенности реакции злаковых культур на физиологически активные вещества // Модернизация профессиональной подготовки специалистов в области естественнонаучного образования: мат-лы Международ. науч.-практ. конф. Минск: Беларус. пед. ун-т им. М. Танка, 2018. С. 276–279.
 68. Павлова О.Г., Щукин В.Б., Ильасова Н.В. Эффективность предпосевной обработки семян яровой пшеницы препаратами Рибав-Экстра, Биосил, Иммуноцитифит и Гуми-30 в условиях Оренбургского Предуралья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2021. № 1(87). С. 45–49.
 69. Кадыров С.В., Коновалов Н.Н. Изучение новых препаратов для обработки семян и растений // Агрохим. вестн. 2008. № 5. С. 38–39.
 70. Баранова Э.В. Продуктивность яровой пшеницы при применении биопрепаратов и микроэлементов в условиях Приамурья // Вестн. Алтай. ГАУ. 2009. № 12(62). С. 18–20.
 71. Забава Н.И. Пути повышения урожайности яровой пшеницы // Аллея науки. Научн.-практ. электр. журн. 2018. № 10(26). С. 55–58.
 72. Абдулин М.А. Влияние регулятора роста Альфастим на повышение продуктивности пшеницы // Идеи молодых ученых — агропромышленному комплексу: биология, зоотехния, технология переработки сельскохозяйственной продукции: мат-лы студ. научн. конф. Троицк: Южно-Урал. ГАУ, 2021. С. 7–12.
 73. Бобрышева Д.С., Соколова Л.В., Жаркова С.В. Влияние удобрений и стимулятора роста на посевные качества семян пшеницы в лабораторных условиях // Аграрная наука — сельскому хозяйству: сб. мат-лов XVIII Международ. научн.-практ. конф. Барнаул: Алтай. ГАУ, 2023. Т. 1. С. 201–203.
 74. Ларионов Г.И., Стребков В.Н., Кулемин С.В. Экологически чистый регулятор Силк на яровой пшенице // Зерн. хоз-во. 2003. № 4. С. 17–19.
 75. Фомина Н.М. Формирование продуктивности, посевных качеств и урожайных свойств семян яровой пшеницы под влиянием регуляторов роста и удобрений в лесостепи Среднего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза: Пенз. ГСХА, 2000. 20 с.
 76. Агафонов А.К. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от пестицидов на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Главный агроном. 2012. № 12. С. 26–29.
 77. Давидянец Э.С. Влияние экстракта из *Silphium perfoliatum* L. на физиолого-биохимические показатели и зерновую продуктивность озимой пшеницы // Биология. 2014. № 3. С. 61–64.
 78. Горенская Т.В., Гантимуров Н.И. Влияние регуляторов роста на урожайность яровой пшеницы в Забайкальском крае // Вестн. Бурят. ГСХА им. В.Р. Филиппова. 2012. № 2(27). С. 147–150.
 79. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
 80. Давидянец Э.С., Нешин И.В. Рострегулирующее действие экстракта *Silphium perfoliatum* L. при выращивании озимой пшеницы // Агрохимия. 2004. № 11. С. 54–57.
 81. Давидянец Э.С. Применение регуляторов роста тритерпеновой природы при выращивании озимой пшеницы // Агрохимия. 2006. № 8. С. 30–33.
 82. Бархатова О.А. Влияние азотных подкормок и биологически активных веществ на формирование урожая и качества зерна озимой пшеницы в условиях Центрального Предкавказья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь: Ставрополь. ГАУ, 2008. 22 с.
 83. Фотосинтез и продукционный процесс / Под ред. А.А. Нечипоровича. М.: Наука, 1988. 280 с.
 84. Сонин В.А. Агробиологическое обоснование различных способов применения регуляторов роста растений в посевах озимой пшеницы в условиях Центрального Черноземья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Курск: Курск. ГСХА, 2005. 19 с.
 85. Пигорев И.Я., Кудинов, Марущенко Д.И. Роль некорневых подкормок озимой пшеницы сорта Гром на черноземе типичном Курской области // Вестн. Курск. ГСХА. 2022. № 5. С. 35–40.
 86. Дворецкий С.А. Влияние регуляторов роста на снижение воздействия ксенобиотиков в посевах озимой пшеницы в условиях Республики Мордовия: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза: Пенз. ГСХА, 2012. 18 с.
 87. Халгаева К.Е. Комплексное влияние стимуляторов роста и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы в условиях светло-каштановых почв Калмыкии: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Астрахань: Астрахан. гос. ун-т, 2012. 22 с.
 88. Гулянов Ю.А. Влияние регуляторов роста растений на реализацию ресурсного потенциала агроценозов озимой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Вестн. Оренбург. ГАУ. 2007. № 3. С. 150–154.
 89. Ефремова Ю.В. Агробиологические основы интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе выщелоченном при применении биостимуляторов роста: Автореф. дис. ...

- канд. с.-х. наук. Орел: Орлов. ГАУ им. Н.В. Парахина, 2017. 25 с.
90. Шалыгина А.А. Продуктивность фотосинтетической деятельности озимой пшеницы в лесостепной зоне РСО – Алания // Тенденции развития науки и образ-я. 2023. № 96–10. С. 182–186.
 91. Макаров А.А., Мамсиров Н.И., Иванова З.А., Тхазеплова Ф.Х. Продуктивность и технологические качества зерна озимой пшеницы сорта Гром в зависимости от применения регуляторов роста растений и азотных подкормок // Новые технологии. 2021. Т. 17. № 4. С. 11–25.
 92. Магомедова А.Н., Рамазанова К.Р., Далгатова И.Д. Продуктивность сортов озимой пшеницы в предгорной провинции Дагестана в зависимости от применения регуляторов роста // Изв. Дагестан. ГАУ. 2022. Вып. 2(14). С. 73–76.
 93. Чернуха С.А. Отзывчивость сортов яровой мягкой пшеницы на нормы посева и биологически активные вещества в Волгоградском Заволжье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: Волгоград. ГСХА, 2011. 24 с.
 94. Тимошенко Э.В. Действие биопрепаратов на показатели фотосинтеза и урожайность яровой пшеницы в Амурской области // Междунар. науч.–исслед. журнал. 2015. № 10–3(41). С. 68–70.
 95. Шикин В.И. Роль предшественников, удобрений и стимуляторов роста при выращивании сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. п. Персиановский: Дон. ГАУ, 2006. 21 с.
 96. Семенюк О.В. Влияние жидких органоминеральных удобрений на активность нитратредуктазы у озимой пшеницы в репродуктивный период // Изв. Горск. ГАУ. 2018. № 55(4). С. 48–53.
 97. Калашикова А.А. Влияние предпосевной обработки семян полифункциональными препаратами на активность нитратредуктазы в фазы колошения растений озимой пшеницы // Аграрная наука XXI: проблемы и перспективы развития: мат.-лы Международ. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронеж. ГАУ им. Императора Петра I, 2022. С. 229–234.
 98. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. Уфа: Гилем, 2001. 160 с.
 99. Чумикина Л.В., Арапова Л.И., Колпакова В.В., Топунов А.Ф. Фитогормоны и абиотические стрессы // Химия раст. сырья. 2021. № 4. С. 5–30.
 100. Давидянц Э.С. Действие суммы тритерпеновых гликозидов и экстракта из *Silphium perfoliatum* на ростовые процессы в условиях высокотемпературного и солевого стресса // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: мат.-лы X Международ. симп. М.: РУДН, 2013. Т. 1. С. 88–90.
 101. Давидянц Э.С. Влияние тритерпеновых гликозидов из *Silphium perfoliatum* L. на прорастание семян и рост проростков в условиях теплового стресса // Раст. ресурсы. 2023. Т. 42. Вып. 2. С. 120–125.
 102. Семенюк О.В. Влияние органо-минеральных удобрений Полидон и стимулятора роста Альфастим на засухоустойчивость мягкой озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Современная аграрная наука как фактор повышения эффективности сельскохозяйственного производства региона. Сб. научн. тр. по мат.-лам конф. с международ. участием / Под ред. В.Н. Мазурова. Калуга: Калуж. НИИСХ, 2018. С. 71–76.
 103. Широких И.Г., Абубакирова Р.И., Карпова Е.М., Кучин А.В. Оценка натриевых солей суммы тритерпеновых кислот *Abies sibirica* L. в качестве регулятора роста и стресспротектора яровой пшеницы // Агрохимия. 2007. № 1. С. 52–56
 104. Тюкина Е.В., Савельев А.С., Бочкарев Д.В., Наумов М.О. Влияние регуляторов роста на посевные качества семян и морфометрические показатели озимой пшеницы в условиях солевого стресса // IX Международ. научн.-практ. конф. “Лапшинские чтения”. Саранск: Мордов. ГАУ, 2013. С. 255–259.
 105. Калашикова А.А. Влияние обработки семян пшеницы полифункциональными препаратами на урожайность и солеустойчивость // Сел.-хоз. журн. 2022. № 2(15). С. 4–11.
 106. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. М.: Агропромиздат, 1991. 415 с.
 107. Широких И.Г., Огородникова С.Ю., Широких А.А., Карпова Е.М., Хуришайнен Т.В. Биологическая активность терпеноидов, полученных эмульсионной экстракцией из древесной зелени ели, пихты и березы // Агрохимия. 2008. № 10. С. 10–17.
 108. Тюкина Е.В., Бочкарев Д.В., Савельев А.С., Федоров И.А. Снижение абиотического стресса в посевах озимой пшеницы при использовании регуляторов роста // Актуальные вопросы агрономии, агрохимии и агроэкологии: мат.-лы Международ. научн.-практ. конф. Ульяновск: Ульяновск. ГСХА им. П.А. Столыпина, 2012. С. 225–229.
 109. Губанов Я.В., Иванов Н.Н. Озимая пшеница. М.: Агропромиздат, 1988. 302 с.
 110. Глухова И., Ельников М., Рябчук И. Как повысить зимостойкость озимой пшеницы // Главн. агроном. 2010. № 9. С. 15–17.
 111. Трунова Т.И. Растения и низкотемпературный стресс. М.: Наука, 2007. 54 с.
 112. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Участие растворимых углеводов и низкомолекулярных соединений

- азота в адаптивных реакциях растений // Вестн. Харьков. НАУ. Сер. Биол. 2010. № 2(20). С. 36–53.
113. Тюкина Е.В., Савельев А.С., Бочкарев Д.В., Смолин Н.В. Влияние регуляторов роста и фунгицидов на содержание сахарозы в узлах кушения и урожайность озимой пшеницы // Нива Поволжья. 2013. № 2(27). С. 66–71.
 114. Смолин Н.В., Савельев А.С., Синьков А.А., Сальникова Е.В. Влияние регуляторов роста на зимостойкость озимой пшеницы в условиях Республики Мордовия // Научные системы земледелия и их совершенствование: мат-лы Международ. научн. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. В.П. Нарциссова. Н. Новгород: Нижегород. ГСХА, 2007. С. 150–152.
 115. Жалиева Л.Д. Повышение морозоустойчивости растений озимой пшеницы при обработке семян биологически активными веществами // Достиж. науки и техн. АПК. 2001. № 6. С. 17–19.
 116. Бардак Н.Н., Жук Б.Н., Стручалин М.С. Эффективность препарата Силк // Земледелие. 2001. № 1. С. 29.
 117. Чекуров В.М., Козлов В.Е., Жалиева Л.Д. Способ повышения морозоустойчивости озимой пшеницы: Пат. 2269895, РФ // Б.И. 2006. № 5.
 118. Зеленская Г.М., Шестов И.Н. Влияние предпосевной обработки семян на продуктивность посевов озимой пшеницы // Актуальные вопросы управления производством растениеводческой и животноводческой продукции АПК и здоровьем сельскохозяйственных животных: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. п. Персиановский: Дон. ГАУ, 2019. С. 75–81.
 119. Калмыкова Е.В. Повышение продуктивности сортов озимой пшеницы при комплексном применении удобрений и регуляторов роста // Теор. и прикл. пробл. АПК. 2011. № 4(9). С. 26–28.
 120. Веселов Д.С., Кадиков Р.К., Мигранов Р.Р., Баимова Г.М. Концентрация осмотически активных веществ в листьях растений мягкой яровой пшеницы в засушливых условиях Южного Предуралья // Изв. Уфим. НЦ РАН. 2013. № 3. С. 75–78.
 121. Калмыкова Е.В. Оптимизация приемов возделывания сортов озимой пшеницы в зоне каштановых почв Волгоградской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: Волгоград. ГСХА, 2012. 24 с.
 122. Авдеев А.П. Влияние удобрений и стимуляторов роста на влагообеспеченность посевов и продуктивность сортов озимой пшеницы // Международный. научн.-исслед. журн. 2015. № 8(39). Ч. 4. С. 6–9.
 123. Тюкина Е.В., Савельев А.С., Наумов М.О. Влияние регуляторов роста и фунгицидов на морфометрические показатели растений озимой пшеницы // Мат-лы 47-й Международ. научн. конф. молод. ученых, докторантов, аспирантов и соискателей уч. степеней д-ра и канд. наук. М.: ВНИИА, 2013. С. 205–208.
 124. Лухменев В.П., Нугуманов А.Х., Ахметшин А.И., Исхаков Ф.Ф., Исаев Р.В. Экологические аспекты использования химических средств защиты растений на яровом ячмене и пшенице // Изв. Оренбург. ГАУ. 2005. № 1(5). С. 58–61.
 125. Карпунин М.В., Кирсанова Е.В. Влияние совместного применения препаратов Раксил и Биосил на посевные качества и урожайные свойства семян яровой пшеницы // Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития АПК: мат-лы XI Международ. научн.-практ. конф. молод. ученых, аспирантов и студентов. Орел: Орлов. ГАУ им. Н.В. Парахина, 2007. С. 56–58.
 126. Цыбенков Б.Б., Дабеева М.Д. Влияние биостимулятора Биосил на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в сухостепной зоне Бурятии // Вестн. Бурят. ГСХА им. Филиппова. 2010. № 1(18). С. 84–89.
 127. Лыскин В.М. Технологические приемы формирования урожая зерна яровой мягкой пшеницы на черноземах южных в Оренбургском Предуралье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Оренбург: Оренбург. ГАУ, 2012. 22 с.
 128. Глинушкин А.П., Белошапкина О.О. Влияние синтетических и биологических препаратов на всхожесть семян и выживаемость пшеницы // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 1. С. 11–13.
 129. Тюкина Е.В., Девяткина Т.Ф., Колмыкова Т.С., Бочкарев Д.В. Антистрессовое действие регуляторов роста при использовании гербицидов на растениях озимой пшеницы // Вестн. Саратов. ГАУ им. Н.И. Вавилова. 2013. № 5. С. 41–45.
 130. Пахомова В.М., Даминова А.И. Антиоксидантное действие препарата женьшеня при некорневой обработке яровой пшеницы. Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма: мат-лы научн. конф. с международ. участием. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016. С. 175–176.
 131. Тимошенко Э.В. Ферментативная активность яровой пшеницы при обработке биопрепаратами в условиях южной зоны Амурской области // Инновационные процессы и технологии в современном сельском хозяйстве: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. в 2-х частях. Ч. 1. Благовещенск, 2014. С. 141–146.
 132. Бочкарев Д.В., Смолин Н.В., Девяткина Т.Ф., Дворецкий С.А., Кошкин А.В. Влияние регуляторов роста на снижение абиотического стресса и посевные качества семян озимой пшеницы // Аграрная наука – сельскому хозяйству: мат-лы VII Международ. научн.-практ. конф. Барнаул: Алтай. ГАУ, 2012. Т. 2. С. 294–295.

133. Девяткина Т.Ф., Дворецкий С.А., Кошкин А.В. Влияние регуляторов роста на морфометрические показатели озимой пшеницы в лабораторном опыте // XXXX Огаревские чтения: мат-лы научн. конф. Естеств. науки. Саранск: Изд-во Мордов. гос. ун-та, 2012. С. 181–183.
134. Лукаткин А.С., Семенова А.С., Лукаткин А.А. Влияние регуляторов роста на проявление токсического действия гербицидов на растения // Агрохимия. 2016. № 1. С. 73–95.
135. Селютина А.Е., Коробов В.А. Влияние регуляторов роста растений на стрессоустойчивость яровой пшеницы к гербициду Велосити. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/33699>
136. Гузь А.Л. Влияние биопрепарата Биосил на урожайность, качество зерна и снижение стрессового воздействия гербицидов на растения озимой пшеницы // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем. Краснодар: ВНИИ биол. защиты раст., 2006. Вып. 4. С. 292–294.
137. Тимофеев В.Н., Гарбар И.Н. Применение гербицидов на яровой пшенице в Тюменской области // Сб. научн. тр. ВНИИ овцеводства и козоводства. 2015. Т. 1. № 8. С. 799–801.
138. Дворецкий С.А., Девяткина Т.Ф., Бокарев Д.В., Смолин Н.В. Эффективность применения гербицидов и регуляторов роста в посевах озимой пшеницы // Нива Поволжья. 2012. № 4(25). С. 15–19.
139. Петров Н.Ю., Чернышков В.В., Сарычев А.Н. Влияние биопрепаратов на засоренность посевов мягкой пшеницы в подзоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья // Теор. и приклад. пробл. АПК. 2010. № 1. С. 27–30.
140. Дорогая Ю.В. Эффективность гербицидов нового поколения в снижении засоренности посевов яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск: Красноярск. ГАУ. 2011. 19 с.
141. Спиридонов Ю.Я., Будынков Н.И., Стрижков Н.И., Автаев Р.А., Автаев С.С.-Х., Даулетов М.А., Шагиев Б.З., Линьков А.С. Использование гербицидов в борьбе с сорной растительностью в посевах озимой пшеницы // Устойчивое развитие мирового сельского хозяйства: сб. мат-лов международ. научн.-практ. конф. Саратов, 2017. С. 102–105.
142. Спиридонов Ю.Я., Чичварин А.В., Спиридонова Г.С. Влияние регулятора роста Биосил на эффективность баковой смеси гербицидов в посевах зерновых культур (Дикамба + метсульфурон-метил) // Проблемы экологии агроэкосистем: пути и методы их решения. Новосибирск: Сибир. НИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва, 2009. С. 130–133.
143. Иванов О.А. Перспективы применения удобрений и регуляторов роста для контроля сорняков в агрофитоценозах // Аграрная наука — сельскому хозяйству: сб. мат-лов XVIII Международ. научн.-практ. конф. В 2-х частях. Барнаул, 2023. С. 224–226.
144. Анисимов М.М., Иванов А.С., Попов А.М., Киселева М.И., Себко И.Г. Влияние некоторых тритерпеновых гликозидов и полиеновых антибиотиков на проницаемость клеточных мембран для ионов K^+ и УФ-поглощающих веществ // Приклад. Биохим. и микробиол. 1981. Т. 17. № 6. С. 890–895.
145. Gruiz K. Fungitoxic activity of saponin: practical use and fundamental principle // Adv. Exp. Med. Biol. 1996. V. 404. P. 527–534.
146. Давидянц Э.С. Тритерпеновые гликозиды *Silphium perfoliatum* L.: строение, биологическая активность, возможность использования: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017. 43 с.
147. Давидянц Э.С., Карташева И.А., Нешин И.В. Влияние тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L. на фитопатогенные грибы // Раст. ресурсы. 1997. Т. 33. Вып. 4. С. 93–96.
148. Карташева И.А., Давидянц Э.С. Оценка антифунгального действия суммы тритерпеновых гликозидов, выделенной из двух видов сильфии // Защита и карантин растений: сб. науч. тр. Ставрополь: Ставрополь. ГСХА, 1998. С. 17–20.
149. Гарбар Л.И. Протравители семян, стимуляторы роста и их смеси на яровой пшенице // Технологическая политика в современном земледелии: мат-лы научн.-практ. конф. по общему земледелию. Барнаул: Алтай. НИИ земледелия и селекции с.-х. культур, 2000. С. 21–23.
150. Стрелков Е.В., Бегунов И.И., Гончаров В.Т. Эффективность применения некоторых протравителей семян пшеницы, биопрепаратов и их композиций // Агро XXI. 2002. № 7(12). С. 57–58.
151. Сарычева Л.М. Влияние регуляторов роста растений и фунгицидов на патогенез инфекционного выпадения и урожайность озимых зерновых культур: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. 20 с.
152. Смолин Н.В., Синьков А.А., Савельев А.С., Китаев С.А. Влияние регуляторов роста на продуктивность озимой пшеницы и устойчивость к септориозной пятнистости // XXXVII Огаревские чтения: мат-лы научн. конф. Ч. 2. Естеств. науки. Саранск: Изд-во Мордов. гос. ун-та, 2009. С. 39–41.
153. Чекуров В.М., Зазимко М.И., Жалиева Л.Д., Тостиков Г.А., Ралдугин В.А., Друганов А.Г., Климов В.П., Шубин А.Н. Способ борьбы с грибными болезнями зерновых культур: Пат. 2147400, РФ // Б.И. 2000. № 4.

154. Ларионов Г.И., Зоркина Т.М., Кулемин С.В. Мартынович Л.Л. Влияние регулятора роста Силка на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях сухостепной зоны Республики Хакасия // *Агрохимия*. 2003. № 8. С. 57–60.
155. Жалиева Л.Д. Силк в борьбе с болезнями листьев и колоса зерновых культур // *Сб. научн. тр. Краснодар. НИИСХ им. П.П. Лукьяненко*, 2000. С. 230–233.
156. Сазанович С.В. Власенко Н.Г. Силк не конкурент фунгицидам, а помощник // *Защита и карантин раст.* 2003. № 2. С. 31.
157. Щедрин В.А. Факторы эффективности биостимуляторов роста в посевах озимой пшеницы // *Агроэкологические проблемы Центрального Черноземья: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф.* Курск: Курск. ГСХА, 2004. С. 122–124.
158. Полоус Г.П., Жабина В.И., Есаулко Н.А. Влияние регуляторов роста на пораженность озимой пшеницы болезнями // *Вестн. АПК Ставрополя*. 2012. № 2(6). С. 16–17.
159. Есаулко Н.А., Романенко Е.С., Селиванова М.В., Сосюра Е.А., Айсанов Т.С. Изменение поражаемости озимой пшеницы болезнями в зависимости от применения регуляторов роста // *Научные основы развития сельскохозяйственного производства в России: Сб. мат-лов Всерос. научн.-практ. конф.* Махачкала: Дагестан. ГАУ им. М.М. Джамбулатова, 2017. С. 238–242.
160. Усольцев Ю.А., Косова В.Н. Оценка эффективности действия фунгицидов и ростовых веществ на яровой пшенице // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. ст. по мат-лам V Всерос. научн.-практ. конф.* Курган: Курган. ГСХА им. Т.С. Мальцева, 2021. С. 139–144.
161. Тареев А.И., Багдасаров В.Р., Казаченко А.А. Способ борьбы с фитопатогенными грибами и фунгицидное средство. Пат. 2239319, РФ // Б.И. 2004.
162. Савенков В.П., Травин Г.Н., Федотов В.А. Влияние фунгицидов на продуктивность и качество зерна твердой яровой пшеницы // *Аспекты современных агротехнологий: сб. научн. тр. конф.* Воронеж, 2005. С. 28–30.
163. Иванцова Е.А., Чеботарев В.Ф. Результат очевиден // *Защита и карантин раст.* 2006. № 11. С. 37–37.
164. Немченко В.В., Цытышева М.Ю., Заргарян Н.Ю. Эффективность использования фунгицидов, регуляторов роста и биопрепаратов для борьбы с болезнями зерновых культур // *Вестн. Курган. ГСХА им. Т.С. Мальцева*, 2013. № 1. С. 21–23.
165. Попова Е.А. Регулятор роста Биосил в борьбе с корневой гнилью пшеницы в условиях Куганской области // *Агрометеорология и сельское хозяйство, значение и перспективы: сб. мат-лов Всерос. научн.-практ. конф.* Омск: Омск. ГАУ, 2016. С. 34–36.
166. Спиридонов Ю.Я., Будынков Н.И., Автаев Р.А., Стрижков Н.И., Атаев С.С.-Х., Суминова Н.Б., Даулетов М.А., Ленович Д.Р. Разработка интегрированной технологии защиты посевов полевых культур от болезней, вредителей и сорняков на основе биологических и химических методов // *Аграр. научн. журн. Естеств. науки*. 2017. № 9. С. 39–42.
167. Мамсиров Н.И., Дагулжиева З.Ш. Действие регуляторов роста на посевы озимой пшеницы // *Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: мат-лы IV Международ. научн.-практ. конф.* Нальчик: Кабардино-Балкар. ГАУ, 2018. С. 42–46.
168. Бабаянц О.В., Цыганкова В.А., Пономаренко С.П., Медков М.И. Роль регуляторов роста в иммунзащитных реакциях растений на болезни, вызванные патогенными организмами // *Научное обеспечение отрасли свекловодства: мат-лы Международ. научн.-практ. конф.* Несвиж, 2022. С. 151–166.
169. Лухменев В.П. Экологизация защиты яровой пшеницы через применения биологических препаратов и регуляторов роста в баковых смесях с пестицидами // *Изв. Оренбург. ГАУ*. 2004. № 4(4). С. 16–17.
170. Кадиков Р.К., Мигранов Р.Р. Влияние сортовой устойчивости яровой пшеницы на эффективность применения препаратов предпосевной обработки семян // *Вестн. Башкир. ГАУ*. 2013. № 1(25). С. 33–35.
171. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н. Кривошеева С.В. Препараты и баковые смеси против листостебельных инфекций в посевах яровой пшеницы // *Вестн. Бурят. ГСХА им. В.Р. Филиппова*. 2019. № 3(56). С. 14–23.
172. Пилипенко Н.Г., Андреева О.Т., Сидорова Л.П., Харченко Н.Ю. Влияние предпосевной обработки семян на развитие болезней зерновых культур // *Кормопроизводство*. 2022. № 1. С. 37–42.
173. Комков Н.Д. Агротехнологические факторы фитосанитарной оптимизации возделывания озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Галицино: ВНИИ фитопатологии, 2006. 26 с.
174. Назарова Л.Н., Мотовилин А.А., Корнева Л.Г., Полякова Т.М., Жохова Т.П., Копорова Т.И. Оценка эффективности биопрепаратов и индукторов устойчивости на озимой пшенице против болезней листьев и колоса // *Индукцированный иммунитет сельскохозяйственных культур — важное направление в защите растений: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф.* / Под ред. С.С. Санина, В.А. Павлюшина. 2006. С. 116–119.
175. Захаренко В.А. Биопестициды и средства защиты растений с небioцидной активностью в интегрированном управлении фитосанитарным состоянием зерновых агроэкосистем // *Агрохимия*. 2015. № 6. С. 64–76.

176. Санин С.С., Назарова Л.Н., Неклеса Н.П., Полякова Т.М., Гудвин Н. Эффективность биопестицидов и регуляторов роста растений в защите пшеницы от болезней // Защита и карантин раст. 2012. № 3. С. 16–18.
177. Маслова Н.В. Твердая головня пшеницы и меры борьбы с ней в Нижнем Поволжье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов: Саратов. ГАУ, 2006. 25 с.
178. Земскова Ю.К., Мулдашев М.Ю., Зюкова О.А., Никонцева Н.М. Приемы протравливания семян при борьбе с грибными заболеваниями // Правовые, экономические и экологические аспекты рационального использования земельных ресурсов: сб. ст. VI Международ. научн.-практ. конф. Саратов: Саратов. ГАУ, 2021. С. 39–44.
179. Санин С.С., Жохова Т.П. Влияние болезней и средств защиты растений на качество зерна пшеницы // Защита и карантин раст. 2012. № 11. С. 16–19.
180. Шомахова М.А., Иванова З.А., Тхазеплова Ф.Х. Формирование высокопродуктивных посевов яровой твердой пшеницы в степной зоне Кабардино-Балкарии // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: мат-лы IX Всерос. научн.-практ. конф. молод. ученых. Лесниково: Курган. ГСХА им. Т.С. Мальцева, 2017. С. 320–326.
181. Балашов В.В., Агафонов А.К. Влияние регуляторов роста и фунгицидов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в подзоне светло-каштановых почв Волгоградской области // Плодородие. 2013. № 1(70). С. 28–29.
182. Кошелева И.П. Развитие болезней и формирование урожайности в агрофитозенозе пшеницы и ячменя в зависимости от применения биологически активных препаратов // Нива Поволжья. 2007. № 3(4). С. 14–19.
183. Заревина К.С., Стецов Г.Я., Силантьева М.М. Влияние биологически активных веществ на яровую пшеницу в экстремальных условиях // Пробл. бот. юж. Сибири и Монголии. 2016. № 15. С. 437–441.
184. Коробейникова О.В., Строт Т.А., Маслова М.П., Никитин А.А. Влияние регуляторов роста на посевные качества семян ячменя и яровой пшеницы // Современные достижения селекции растений — производству: мат-лы Нац. научн.-практ. конф. Ижевск: Ижевск. ГСХА, 2021. С. 187–199.
185. Тимошенко Э.В. Применение биопрепаратов и микроэлементов для повышения продуктивности и качества зерна яровой пшеницы в условиях южной зоны Амурской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Благовещенск: Дальневосток. ГАУ, 2011. 19 с.
186. Кошелева И.П. Влияние биологически активных препаратов при совместном применении с протравителем семян Колфуго Супер на развитие болезней пшеницы // Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур: сб. мат-лов VIII Всерос. научн.-практ. конф. Пенза, 2004. С. 127–130.
187. Хуришайнен Т.В., Трепашко Л.И., Сорока С.В., Лавхич Ф.А., Кучин А.В. Исследования эффективности регулятора роста растений Вэрва в посевах озимой пшеницы в Республике Беларусь // Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование — рекомендации — практические результаты: мат-лы XIV Международ. научн.-практ. конф. / Отв. ред. Д.В. Маслак. Минск: Изд-во БГУ, 2018. С. 215–217.
188. Лазарев В.И., Казначеев М.Н. Силк — эффективный стимулятор роста озимой пшеницы // Главн. агроном. 2004. № 9. С. 42.
189. Самсонов Ю.Н., Макаров В.И. Применение аэрозолей природных биоактивных веществ для регулирования роста растений // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. № 4(2). С. 117–120.
190. Ульяновцев А.В., Недбаев В.Н. Агроэкологическое обоснование применения биопрепаратов в посевах озимой пшеницы в Курской области // Интеграция науки и с.-х. производства: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Курск: Курск. ГАУ им. И.И. Иванова, 2017. С. 144–146.
191. Беседин Н.В., Котельникова М.Н. Биостимуляторы роста и урожайность озимой пшеницы в условиях Курской области // Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях — продолжение научного наследия Листопада Г.Е., акад. ВАСХНИЛ (РАСХН). Нац. научн.-практ. конф. Волгоград: Волгоград. ГАУ, 2019. Т. 1. С. 89–94.
192. Воронов С.И., Плескачев Ю.Н., Черноморов Г.В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от листового внесения КАС и регуляторов роста // Пробл. развития АПК региона. 2020. № 1(41). С. 19–20.
193. Ефременко А., Самохин П.И., Малышева Е.В. Влияние биостимуляторов роста на урожайность озимой пшеницы в условиях Курской области // Биотехнологические приемы производства и переработки сельскохозяйственной продукции: мат-лы Всерос. (нац.) научн.-практ. конф. Курск: Курск. ГСХА им. И.И. Иванова, 2021. Т. 1. С. 228–231.
194. Шитиков Н.В., Кудинов В.А., Пигорев И.Я. Некорневое использование удобрений и стимуляторов роста при выращивании озимой пшеницы на черноземе типичном // Вестн. Курск. ГСХА. 2022. № 6. С. 29–34.
195. Петриченко В.Н., Зеленков В.Н., Логинов С.В., Туркина О.С. Применение регуляторов роста растений для снижения тяжелых металлов в продукции // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: мат-лы докл. участ-

- ников 10-й научн.-практ. конф. / Под ред. В.Г. Сычева. Анапа: ООО "Плодородие", 2018. С. 163–165.
196. Петров Н.Ю., Бердников Н.В., Чернышков В.В. Влияние биостимуляторов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Аграр. вестн. Урала. 2008. № 9(51). С. 45–46.
197. Давидянц Э.С., Ерошенко Ф.В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // Достиж. науки и техн. АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 21–26.
198. Ерошенко Ф.В., Ерошенко А.А., Симатин Т.В., Шестакова Е.О., Давидянц Э.С., Сторчак И.Г., Семенюк О.В. Азотные подкормки растений озимой пшеницы в условиях Ставропольского края // Земледелие. 2017. № 8. С. 18–20.
199. Лебедева Т.А. Влияние препаратов Лариксин и Биосил на формирование урожайности озимой пшеницы // Главн. агроном. 2010. № 7. С. 30.
200. Магомедов К.Г., Ханиева И.М., Кишев А.Ю., Базиев А.П., Камбиев А.А. Изменение технологических качеств озимой пшеницы при применении регуляторов роста в условиях предгорной зоны КБР // Современные проблемы, перспективы и инновационные тенденции развития аграрной науки: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Махачкала, 2010. Т. 2. С. 334–337.
201. Иванов В.М., Чернуха С.А. Влияние норм высевы и физиологически активных веществ на урожайность, качество зерна и семян яровой пшеницы в Волгоградском Заволжье // Аграр. вестн. Урала. 2010. № 4(70). С. 74–76.
202. Балашов А.В., Набойченко К.В., Малахова А.А. Отзывчивость сортов озимой пшеницы на биологически активные вещества и сроки сева в подзоне светлосветлых почв Волгоградской области // Плодородие. 2012. № 5(68). С. 36–37.
203. Нешин И.В., Мягоседова С.С., Бархотова О.А., Давидянц Э.С., Дуденко Н.В., Орехова А.Н. Роль регуляторов роста в повышении продуктивности озимой пшеницы // Земледелие. 2012. № 3. С. 25–27.
204. Титков В.И., Байкасов Р.К. Урожайность яровой мягкой пшеницы в зависимости от сорта, нормы высевы и регуляторов роста в условиях Оренбургского Предуралья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2014. № 6(50). С. 19–21.
205. Сейтбогоматов Е.С., Ильясова Н.В., Щукин В.Б. Эффективность некорневого внесения регуляторов роста и удобрения на основе гуминовых кислот в поздние фазы роста и развития озимой пшеницы // Изв. Оренбург. ГАУ. 2018. № 2(70). С. 50–53.
206. Mamsirov N.I., Makarov A.A. The influence of growth-regulating substances on the yield and grain quality of new varieties of winter soft wheat // Sci. Eur. 2020. № 55(2). Р. 3–6.
207. Немченко В.В., Цытышева М.Ю. Влияние биопрепаратов и регуляторов роста на структуру урожая и продуктивность яровой пшеницы // Вестн. Алтай. ГАУ. 2014. № 8(118). С. 5–8.
208. Новочихин Л.М., Щеглов Н.В. Эффективность применения современных агропрепаратов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Вестн. Мичурин. ГАУ. 2015. № 3. С. 40–47.
209. Павлова О.Г., Щукин В.Б., Ильясова Н.В. Эффективность регуляторов роста Рибав-Экстра, Биосил, Иммуноцитифит и их совместного применения с Гуми-30 на посеве яровой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2020. № 2(82). С. 47–52.
210. Власов А.Г., Кажарский В.Р., Миренков Ю.А. Новосил – новый перспективный регулятор роста в посевах яровой пшеницы и люпина узколистного // Ресурсосбережения и экология в сельском хозяйстве: мат-лы VI Международ. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, посвящ. 75-летию НАН Беларуси. Горки: Беларус. ГСХА, 2004. С. 86–87.
211. Безгодов А.В., Ахметханов В.Ф. Реакция сорта Екатерина на применение химических и биологических средств защиты растений и стимуляторов роста // Интеракт. наука. 2017. № 11(21). С. 55–56.
212. Кишев А.Ю., Бербекова К.З., Жерукова А.А. Применение регуляторов роста при возделывании яровой пшеницы // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: мат-лы III Международ. научн.-практ. конф. Нальчик: Кабардино-Балкар. ГАУ, 2017. С. 69–73.
213. Фаллаева Л.В., Черкашин А.Г., Зубарев Ю.Н. Влияние приема предпосевной обработки почвы и регулятора роста на урожайность яровой пшеницы в Среднем Предуралье // Агротехнологии XXI века: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2018. С. 93–97.
214. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Яковлев М.А., Ковалев Е.А., Тарасенко Д.А. Особенности использования регулятора роста Новосил на выщелоченном черноземе лесостепи Приобья // Теория и практика современной аграрной науки: сб. V Нац. (Всерос.) научн. конф. с междунар. участием. Новосибирск: Центр Новосибирск. ГАУ "Золотой колос", 2022. С. 3–5.
215. Шалыгина А.А. Регуляторы роста растений в посевах озимой пшеницы // Тенденц. Разв. науки и образ-я. 2022. № 92(14). С. 141–143.
216. Семенюк О.В. Эффективность применения жидких органо-минеральных удобрений Полидон и стимулятора роста Альфастим в посевах озимой пшеницы // Земледелие. 2017. № 1. С. 44–46.
217. Мицурин А.М. Влияние жидких микроэлементных смесей на продуктивность подсолнечника и яровой пшеницы // Вестн. Алтай. ГАУ. 2017. № 8(154). С. 9–13.

218. *Муравьев А.А.* Эффективность листовых подкормок на яровой пшенице // Инновац. в АПК: пробл. и перспект. 2020. № 1(25). С. 154–160.
219. *Давидянц Э.С.* Влияние регуляторов роста растений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на фоне ранневесенней азотной подкормки // Агрохимия. 2022. № 6. С. 45–50.
220. *Мамсиров Н.И., Мнатсаканян А.А., Загоруйко А.В., Макаров А.А.* Комплексное исследование воздействия стимуляторов роста и микроудобрений на продуктивность озимой пшеницы // Новые технол. 2022. № 18(4). С. 180–190.
221. *Долгополова Н.В., Бабаскина А.А.* Влияние стимуляторов роста на развитие и продуктивность озимой пшеницы // Вестн. Курск. ГСХА. 2022. № 1. С. 34–41.
222. *Авдеенко А.П., Петросян А.М.* Влияние биологических стимуляторов при некорневой обработке на продуктивность озимой пшеницы // Инновационные технологии – основа модернизации агропромышленного комплекса, посвящ. 85-летию проф. Кривко Н.П.: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. п. Персиановский: Донской ГАУ, 2022. С. 93–97.
223. *Калашникова А.А., Симатин Т.В., Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г.* Влияние полифункциональных препаратов на урожай и качество зерна озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Сел.-хоз. журн. 2023. № 2(16). С. 27–36.
224. *Селиванов Н.Ю.* Исследование влияния препарата Вэрва на рост и продуктивность яровой пшеницы // Вэрва – комплексные препараты для растениеводства. Сыктывкар: Ин-т химии ФИЦ Коми НЦ Уро РАН, 2020. С. 85–93.
225. *Уталиева А.А.* Влияние норм высева, регуляторов роста и микроэлементов на продуктивность яровой твердой пшеницы на черноземах южных в Оренбургском Предуралье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Оренбург: Оренбург. ГАУ, 2008. 25 с.
226. *Ткачук О.А., Орлов А.Н., Павликова Е.В.* Адаптивные ресурсосберегающие приемы возделывания яровой мягкой пшеницы в севооборотах лесостепной зоны Среднего Поволжья // Вестн. Ульяновск. ГАУ им. П.А. Столыпина. 2012. № 4(20). С. 24–29.
227. *Лобков В.Т., Сорокина С.Ю., Сушенкова Н.Ю.* Эффективность влияния биогенных препаратов на структуру урожая, урожайность и качественные показатели яровой пшеницы в условиях применения минимальной обработки почвы // Вестн. аграрн. науки. 2020. № 4(85). С. 16–21.
228. *Нешин И.В., Ковтун В.И., Мясоедова С.С., Жолобов В.И., Нешин О.И.* Фотосинтетическая деятельность сельскохозяйственных культур в зависимости от условий возделывания. Ставрополь: СНИИСХ, 2008. 316 с.
229. *Новиков Н.Н., Жарихина А.А.* Состав белков и качество зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от уровня азотного питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Плодородие. 2012. № 5. С. 7–10.

Multifunctional Effect of Triterpenoid-Based Growth Regulators on Wheat Plants

E. S. Davidyants[#]

North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center,
ul. Nikonova 49, Stavropol krai, Mikhailovsk 356241, Russia

[#]E-mail: ei_davidyants@mail.ru

The information on the biological role of triterpenoids in plants, possible mechanisms of the phyto regulatory action of triterpenoids and their glycosides is summarized, the physiological and biochemical aspects of the action of plant growth regulators (PGR) based on triterpenoids: Silk, Biosil, Novosil, Alfastim, etc. on wheat plants in different phases of ontogenesis under normal conditions and under the action of stress factors are considered. Data on the effect of these PGR on the incidence of phytopathogens, yield and grain quality of winter and spring wheat are presented.

Keywords: growth regulators, triterpenoids, triterpene glycosides, preparations Silk, Biosil, Novosil, Verva, Alfastim, multifunctional effect, wheat.